



CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ÉCONOMIE
DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉNERGIE ET DES TECHNOLOGIES

TELEDOC 792
BATIMENT NECKER
120, RUE DE BERCY
75572 PARIS CEDEX 12

Décembre 2019

2019/02/CGE/SG/TS

Réduire la consommation énergétique du numérique

Rapport à

Monsieur le Vice-président du Conseil Général de l'Economie

établi par

Mireille CAMPANA
Ingénieur Général des Mines

Jean CUEUGNIET
Ingénieur Général des Mines

Michel SCHMITT
Ingénieur Général des Mines

Cédric SIBEN
Ingénieur Général des Mines

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

SOMMAIRE

SYNTHESE	6
TABLE DES RECOMMANDATIONS.....	8
1 INTRODUCTION	11
1.1 Avant-propos	11
1.2 Méthodologie de l'étude.....	12
1.2.1 Le périmètre du numérique : un focus sur la consommation énergétique	12
1.2.2 La méthode de travail	14
2 LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DU NUMÉRIQUE EN France	15
2.1 La place du numérique dans l'équipement français	15
2.2 L'approche de la consommation du numérique en France.....	15
2.2.1 Les parcs d'équipements	15
2.2.2 Les usages	16
2.2.3 Les consommations	16
2.2.4 Le passage à la consommation électrique globale.	17
2.2.5 Conversion en émission de CO ₂	17
2.3 Le parc du numérique.....	18
2.3.1 Le parc de smartphones.....	18
2.3.2 Le parc de téléviseurs	20
2.3.3 Le parc d'ordinateurs.....	21
2.3.4 Le parc de tablettes	24
2.3.5 Le parc de box.....	25
2.3.6 Les réseaux.....	26
2.3.7 Le parc d'imprimantes	26
2.3.8 Le parc des serveurs/data centers	27
2.4 L'impact énergétique de la phase d'utilisation en France	30
2.4.1 Smartphones.....	30
2.4.2 Téléviseurs	32
2.4.3 Ordinateurs.....	33
2.4.4 Tablettes	35
2.4.5 Imprimantes.....	36
2.4.6 Box	36
2.4.7 Réseaux	38
2.4.8 Serveurs et data center.....	42
2.4.9 Autres dispositifs.....	43

2.4.10 Le total de la consommation électrique et des émissions de CO ₂	44
2.5 Le cycle de vie des matériels	45
2.5.1 L'impact énergétique de la phase de production	45
2.5.2 La gestion des déchets numériques	47
3 L'ÉVOLUTION DE L'EMPREINTE ÉNERGÉTIQUE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE	48
3.1 La croissance passée.....	48
3.1.1 Rappel des évaluations du rapport CGTI de 2008.....	48
3.1.2 L'évolution de l'empreinte énergétique de 2008 à 2018	49
3.2 La croissance prévisible	55
3.2.1 Les études prospectives au niveau mondial	55
3.2.2 L'étude au niveau France de l'association Negawatt	58
3.2.3 Prospective au niveau France avec une méthodologie propre	59
3.3 Les leviers d'action	71
3.3.1 L'écoconception	71
4 LE CADRE REGLEMENTAIRE	74
4.1 Introduction.....	74
4.2 Empreinte globale du numérique.....	74
4.3 Les data centers.....	75
4.4 Les réseaux	75
4.5 Les terminaux (Utilisation et production)	76
4.6 Réutilisation et recyclage :	77
4.6.1 Favoriser la réparation et la réutilisation : réglementation sur l'obsolescence programmée..	77
4.6.2 Limiter les ressources consommées : loi sur l'économie circulaire	77
5 Recommandations.....	79
5.1 Un corpus de données à établir	79
5.2 Sensibilisation et information des usagers.....	80
5.3 Ecoconception des matériels, logiciels et services.....	82
5.4 Un Etat exemplaire	83
ANNEXES	86
Annexe 1 : Lettre de mission	87
Annexe 2 : Liste des acronymes utilisés	89
Annexe 3 : Liste des personnes rencontrées ou interrogées	90
Annexe 4 : Consommation 2018 estimée à partir des usages	92
Annexe 5 : Quelques valeurs de consommation électriques et d'ACV issues de l'Ademe	93
Annexe 6 : Les discussions sur les ECV des data centers	96
Annexe 7 : Quelques extraits du rapport CGTI de 2008 (aspects gains liés aux TIC)	98

Annexe 8 : Allonger la durée de vie versus gain d'efficacité énergétique	99
Annexe 9 : Séries Observatoire de l'équipement des foyers en audiovisuel.....	101
Annexe 10 : Consommations unitaires d'autres dispositifs	103
Annexe 11 : Comparaison des prévisions de la consommation mondiale liée aux usages du numérique	105
Annexe 12 : Le cadre réglementaire	114

SYNTHESE

Le sujet de la sobriété énergétique du numérique a été le thème de l'année 2019 de la section Technologie et société du CGE. La mission a travaillé sur la base d'auditions et de compilations de documents, et a effectué plusieurs présentations en section CGE et au collège Energie Climat CGE-CGEDD. Elle s'est limitée à l'analyse des produits et services Télécom et informatique en France, sans chercher à analyser l'ensemble de l'électronique et s'est focalisée sur l'aspect énergétique, à la fois sur la consommation électrique lors de l'usage des produits, et sur l'impact lié à la production des produits. La mission s'est efforcée de mesurer l'impact des TIC en 2018, et notamment son évolution depuis le rapport CGTI/ CGEDD/ ARCEP de 2008. La documentation disponible est assez fournie sur le niveau mondial (études The Shift Project, AIE, ANDRAE...) mais les auteurs ne détaillent pas toujours leurs calculs qui font appel à des données propriétaires des constructeurs. La restriction au cas français a été relativement complexe, les statistiques de vente et de parc n'étant pas toujours publiques, et par ailleurs, des incertitudes fortes existent sur le contenu en CO₂ (empreinte production) des produits importés.

Sur le segment étudié (Télécom, informatique), la mission estime la consommation annuelle à environ 36 TWh électriques, soit la production de 6 tranches nucléaires, en légère baisse (de l'ordre du pourcent par an) à assiette égale depuis 2008. La sensibilisation de la fin des années 2000 sur le sujet, les travaux de la commission européenne (règlement sur les veilles...), et les efforts d'efficacité énergétique sur les produits (téléviseurs LED, ordinateurs portables plutôt que fixes) ont porté leurs fruits, et par ailleurs on atteint en France un taux d'équipement proche de 100% sur certains produits conduisant parfois à une légère baisse du parc d'équipements. Néanmoins, la consommation des réseaux et des data centers est en hausse régulière.

Sur les émissions de CO₂, la mission confirme que l'impact usage (3 Mt) est nettement inférieur à l'impact lié à la production des équipements (8 Mt) en raison de l'électricité très décarbonée de la France. Malgré une forte incertitude sur le contenu CO₂ des produits et des évaluations différant d'un facteur deux ou trois entre les sources, la mission estime que la tendance à la baisse depuis 2008 est avérée.

Sur l'évolution future, il est difficile de faire la part des choses entre plusieurs tendances contradictoires.

- Le marché atteint la saturation sur les équipements traditionnels (téléviseurs, ordinateurs, smartphones...) pour lesquels on atteint un palier en termes de performances souhaitées par l'utilisateur ; et il est toujours difficile de prévoir les nouveaux services qui pourraient avoir un impact fort sur la consommation
- Un certain consensus s'établit néanmoins sur le fait que le trafic va continuer à croître sur les réseaux. Les études mondiales (Cisco, The Shift Project), ou françaises (opérateurs Telecom) prédisent une croissance exponentielle des volumes de données transmises, notamment de la vidéo.
- A contrario, les progrès technologiques faits sur les réseaux sont significatifs avec un gain d'un facteur 10 par génération de mobiles et un gain d'un facteur 100 ou plus avec la fibre. Les data centers permettent des économies d'échelle et sont plus optimisés que les petites salles de serveurs qu'ils remplacent.

Les réseaux (avec les data centers et les box) constituent maintenant plus de 40% de la consommation électrique liée à l'usage, donc leur croissance est un élément clef de la prévision énergétique. La juxtaposition d'un taux de croissance de 25% des données et de 10% de l'efficacité

énergétique conduit The Shift Project à prédire une explosion de la consommation électrique mais une légère variation d'un taux peut changer complètement la prévision.

La mission est donc restée prudente sur les perspectives de croissance de l'impact énergétique des TIC, estimant plutôt que les progrès techniques sur les réseaux compensent l'accroissement des volumes et que la baisse de la consommation des équipements entrainera une baisse globale de la consommation totale. L'avenir est lié aux nouveaux usages qui peuvent faire la différence entre croissance et sobriété, entre des TIC « gaspilleurs » et des TIC instruments du développement durable.

La mission formule donc un certain nombre de recommandations en vue de favoriser les usages les plus sobres du numérique :

- Mieux sensibiliser les utilisateurs à l'impact des TIC, notamment par l'affichage obligatoire des performances énergétiques des produits. Il convient d'être vigilants sur la promotion de nouveaux produits et services : si un individu ne peut pas passer plus de 24 h par jour devant un écran, il peut en revanche télécharger de nombreux films ou images de vidéosurveillance qu'il ne regardera pas ou visionner des vidéos en 4K sur un écran d'un mètre, avec aucune différence visible par rapport à un visionnage HD voire SD. La 5G permettra le Cloud gaming, mais ce service sera beaucoup plus gourmand que le jeu en local. Il est donc important de sensibiliser l'utilisateur sur l'impact de ses usages, par une meilleure information sur ses consommations et en faisant payer le juste prix des volumes de données transmises. Le développement de l'internet des objets et le Big Data doivent être examinés à l'aune des économies ou des surcroûts d'énergie qu'ils engendrent.
 - Mieux suivre l'impact du numérique. Un corpus de données de référence pourrait être établi, avec une périodicité de 2 ans qui permette à différents acteurs (Ademe, Arcep, Entreprises dans leur bilan RSE) de fournir des séries de données, que le CGDD pourrait collationner avec la même périodicité. Ces acteurs pourront ainsi mesurer les effets énergétiques des évolutions adoptées.
 - Eco-concevoir les matériels et logiciels : concevoir des équipements réparables, distinguer les mises à jour évolutives et correctives et laisser le choix à l'utilisateur de les implanter ou non ; il serait souhaitable d'actualiser le règlement sur les veilles de 2013 en intégrant mieux les produits comme les box qui étaient hors champ et en rendant obligatoire des modes de veille performants et fluides pour les utilisateurs. Les exigences réglementaires européennes sur l'éco-conception restent vagues, donc peu effectives et seuls quelques produits stabilisés (téléviseurs) font l'objet de contraintes quantifiées.
 - Etre exemplaire au niveau de l'Etat et utiliser le levier de la commande publique pour faire intégrer les performances environnementales dans les appels d'offres. En liaison avec le CIGREF, ces types de cahiers des charges pourraient être généralisés dans les grandes entreprises.
- Mettre en place les bonnes pratiques comme l'allongement de la durée de conservation des produits ou l'extinction des postes de travail lors des périodes d'inactivité.
- Intégrer des modules de formation au Green IT dans l'enseignement des étudiants, pour éco-concevoir des services numériques ou reconditionner des matériels informatiques ; favoriser, par des appels à projets ANR ou ADEME, la recherche sur l'impact énergétique des TIC notamment sur les nouveaux usages.

TABLE DES RECOMMANDATIONS

Un corpus de données à établir

- Recommandation n° 1.** Définir et publier (Ademe en lien avec l'Arcep) un corpus de données minimales communes (parc d'équipements et de services numériques) par secteur économique à faire figurer dans les bilans RSE des entreprises. 79
- Recommandation n° 2.** Actualisation par l'Ademe, tous les deux ans, du guide des facteurs d'émission des principaux produits TIC. 79
- Recommandation n° 3.** Publication par l'Arcep, tous les deux ans, de la consommation des opérateurs de communication électroniques et de leur bilan carbone consolidés à l'échelle de la France. 80
- Recommandation n° 4.** Editer tous les deux ans un baromètre de la consommation énergétique et l'impact environnemental du numérique (usage et production) par le CGDD (ou l'Ademe). 80

Sensibilisation et information des usagers

- Recommandation n° 5.** Mandater l'AFNOR pour impulser la création d'un groupe de normalisation européen visant à définir les normes de calcul de la consommation électrique et de l'énergie grise des matériels informatiques. Rendre ensuite obligatoire l'étiquetage énergétique des matériels informatiques. 81
- Recommandation n° 6.** Mettre en place une communication grand public (ADEME) notamment sur l'intérêt d'arrêter ou débrancher les équipements lors de périodes prolongées d'inutilisation, et de réduire des usages très énergivores (vidéos en 4K et 8K, IoT, jeux en ligne...). En particulier développer chez les utilisateurs le réflexe de savoir si les équipements qu'ils acquièrent (IoT...) vont de pair avec le développement durable. 81

Ecoconception des matériels, logiciels et services

- Recommandation n° 7.** Imposer au niveau européen des équipements réparables, en particulier avec des batteries normalisées et échangeables et promouvoir la filière du reconditionnement. 82

- Recommandation n° 8.** Responsabiliser indirectement les utilisateurs sur la consommation qu'ils engendrent : obliger les éditeurs de logiciel à obtenir l'accord des utilisateurs pour le téléchargement de mises à jour, et à préciser préalablement le volume impliqué et la finalité de la mise à jour, distinguant les mises à jour évolutives et correctives. 82
- Recommandation n° 9.** Encourager (Arcep) les forfaits à consommation limitée, y compris sur le fixe, afin d'éviter une subvention indirecte des utilisateurs à fort trafic par l'ensemble des usagers. 82
- Recommandation n° 10.** Demander aux opérateurs de communications électroniques de définir des protocoles de communication sobres et normalisés, permettant d'adapter le trafic au besoin réel de l'utilisateur. 83
- Recommandation n° 11.** Rendre obligatoire au niveau européen des modes de veille performants et fluides pour l'utilisateur en particulier pour les box [DGE/ ARCEP]. 83
- Recommandation n° 12.** Relancer l'initiative européenne sur le modèle unique de chargeurs. 83

Un Etat exemplaire

- Recommandation n° 13.** Intégrer l'efficacité énergétique et l'impact environnemental dans les politiques d'achat (critères utilisés dans appels d'offres publics) et dans l'utilisation des équipements numériques de l'Etat et les futurs projets numériques. Afficher la consommation énergétique des produits numériques dans les catalogues d'achat public. Pour cela, diffuser plus largement les notes pédagogiques de l'ADEME & communiquer sur les usages numériques responsables. Demander à l'ADEME de réaliser des guides de bonnes pratiques à destination des acheteurs publics et privés. 84
- Recommandation n° 14.** Imposer la sobriété énergétique aux services publics dématérialisés, avec, entre autres, des pages réduites. 84
- Recommandation n° 15.** Limiter le renouvellement des équipements numériques (ordinateurs, smartphones) grâce à la mise à disposition des éléments logiciels spécifiques (ex. navigateur, OS, BIOS), par exemple pendant 5 ans (smartphones) et 10 ans (ordinateurs) à compter de la fin de leur commercialisation..... 84
- Recommandation n° 16.** Automatiser l'extinction du poste de travail & imprimantes (rentable pour les parcs de plus de 1000 postes) ou utiliser un outil de gestion

centralisée de l'extinction des PC, voire la coupure électrique le soir et le week-end..... 84

Recommandation n° 17. Introduire des modules de formation aux métiers « Green IT » dans l'enseignement supérieur. 84

Recommandation n° 18. Renforcer et coordonner davantage les recherches des écoles sous tutelle du CGE dans le domaine de l'optimisation énergétique du numérique par la Direction scientifique de l'IMT. 84

Recommandation n° 19. Focaliser des appels d'offres de l'ANR, l'ADEME et des outils de la BPI sur la réduction de la consommation énergétique du numérique, notamment sur les nouveaux usages (Internet des objets, sécurité...). 85

1 INTRODUCTION

1.1 Avant-propos

L'évolution de l'impact écologique des TIC fait l'objet d'une attention soutenue depuis que le Gartner a indiqué en 2007 qu'il représentait de l'ordre de 2% des émissions de CO₂ de la planète, et autant que le transport aérien¹. Néanmoins, si la consommation de carburant du transport aérien et son impact CO₂ sont assez faciles à mesurer, la prise de conscience de l'impact des TIC a été progressive pour plusieurs raisons :

- la diversité des matériels TIC qui ne sont pas exclusivement mis en place dans des équipements Télécom ou informatiques, posant une problématique de définition de l'assiette d'étude
- la difficulté à suivre ces équipements, qui ne sont généralement pas individualisés dans les statistiques classiques Eurostat ou OCDE
- l'impact multiple des TIC, à la fois sur la production (énergie consommée, CO₂, eau, ressources rares...), la consommation essentiellement électrique et la fin de vie de ces matériels.

Les premières études internationales sur le sujet ont assez rapidement donné lieu à une réponse du secteur des TIC, qui a mis en avant le CO₂ potentiellement évité par les TIC. L'étude Smart 2020 a évoqué des gains potentiels Monde de 7 800 Mt CO₂² (soit près de 15% des émissions mondiales) par des actions sur la logistique et les déplacements, sur les réseaux intelligents, sur le télétravail...

Le gouvernement a confié en 2008 une étude au CGTI (CGE), au CGEDD et à l'Arcep pour analyser la situation française. Cette étude a eu un certain retentissement car elle a mis en relief la spécificité française d'une électricité largement décarbonée grâce au nucléaire. De ce fait la proportion de l'énergie grise (liée à la production des équipements) par rapport à l'énergie liée à l'usage s'est trouvée modifiée et parfois inversée, car les matériels TIC sont très largement importés et produits dans des pays où l'électricité est fortement carbonée. Cette mise en évidence de l'importance de l'énergie grise contrariait enfin les industriels du secteur dont une bonne partie du chiffre d'affaires est liée au renouvellement rapide des produits.

En termes quantitatifs, l'étude de 2008 s'est concentrée sur un périmètre « TIC » étendu Télécom, informatique multimédia et électronique, comprenant les ordinateurs, imprimantes, serveurs, Téléviseurs et équipements audiovisuels, les mobiles et les réseaux de télécom et certains équipements électroniques³. En s'appuyant sur différentes études (Ademe, EDF...), elle a évalué la consommation totale des TIC à 58 TWh par an (soit une douzaine de % de la consommation électrique française) d'électricité pour l'usage, et une empreinte CO₂ induite (énergie grise) de 22 Mt CO₂. L'ensemble représentait près de 30 Mt CO₂/an soit 5% des émissions de CO₂ françaises⁴. Enfin, l'étude estime que la consommation et l'empreinte des TIC étaient en croissance forte de 10% par an environ.

¹ Le transport aérien représentait en 2007 environ 700 Mt dans le Monde et 20 Mt en France

² On parlera systématiquement d'équivalent CO₂ dans le rapport

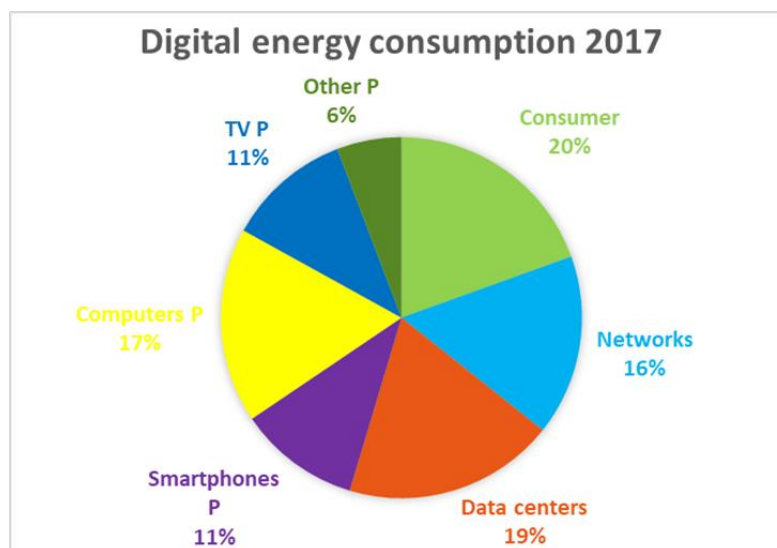
³ Type programmeurs de machine à laver, robots industriels ...

⁴ Ce ratio doit être manié avec précaution car une large part des émissions considérées ne sont pas comptabilisées dans les bilans France puisqu'elles proviennent de la fabrication de matériels importés

La ministre Christine Lagarde a ensuite confié à Michel Petit en 2009 une mission (DETIC) visant à proposer, en liaison avec les industriels et les utilisateurs du secteur des pistes de propositions pour améliorer les performances des TIC. Ont notamment été mis en avant les solutions suivantes :

- Accompagner et normaliser l'industrie des TIC pour produire des composants plus durables
- Faire la promotion des bonnes pratiques auprès du grand public (élaboration de guides)
- Favoriser l'installation de data center en France pour bénéficier d'une électricité décarbonée
- Promouvoir l'utilisation de la maquette numérique des bâtiments, mise en place d'outils de mesure
- Promouvoir le travail à distance....

Durant les années qui ont suivi, un certain nombre de progrès ont été réalisés dans le secteur TIC, sur la normalisation (travaux Afnor, règlements européens), sur les règles de bonnes pratiques notamment sur les data center, et quelques études complémentaires (BCG, IDATE) ont cherché à rappeler l'intérêt des TIC. Récemment (2017- 2018), l'AIE, Green IT, Négawatt, France Stratégie, l'Ademe et The shift Project ont publié de nouvelles études sur la consommation des TIC. Cette dernière indique que le numérique représenterait maintenant environ 3,7% des émissions de CO₂ mondiales⁵ (lesquelles auraient donc largement cru depuis 2007) et que cette évolution n'est plus soutenable. Cette croissance est largement due à l'accroissement du nombre de terminaux et du trafic vidéo.



Source : The shift Project : P signifie «impact lié à la production des équipements», qui représente 45% du total

1.2 Méthodologie de l'étude

1.2.1 Le périmètre du numérique : un focus sur la consommation énergétique

Le numérique représente en France environ 10% du PIB avec un peu plus de 200 Mds€ de chiffre d'affaires. Néanmoins, la valeur ajoutée du numérique en France, qui vient essentiellement des services, ne représente que 4% du PIB en France, avec un montant de 81 Mds€ en 2016. Cette part du

⁵ The Shift Project évalue la consommation électrique mondiale liée aux TIC à 2 373 TWh en 2015 (production et usage), alors que la consommation mondiale d'énergie primaire était de 13 647 Mte p (150 000 TWh) en 2017, dont 24 000 TWh d'électricité (source AIE).

PIB est relativement stable (en très légère baisse entre 2012 et 2016) et légèrement inférieure à celles de l'Allemagne et du Royaume uni (4,2 et 5,9% respectivement en 2015)⁶.

Valeur ajoutée (hors taxes) des secteurs des TIC

	Valeur ajoutée HT (en millions d'€)	Part (en %)
Industrie	5 664	7,0
Ordinateurs et équipements périphériques	327	0,4
Produits électroniques grand public	125	0,2
Autres produits ⁽¹⁾	5 212	6,4
Commerce de gros d'équipements des TIC	5 063	6,2
Services	70 747	86,8
Programmation, conseil et autres activités informatiques	31 762	39,0
Télécommunications	27 296	33,5
Édition de logiciels	7 168	8,8
Traitement de données, hébergement, portails internet	3 263	4,0
Réparation d'ordinateurs et d'équipements de communication	1 258	1,5
TOTAL	81 475	100

⁽¹⁾ Composants et cartes électroniques, équipements de communication, supports magnétiques et optiques.

Source : Insee, É sane 2016.

Source Observatoire du numérique – DGE – Edition 2018

Le e-commerce est un des secteurs les plus dynamiques avec un quadruplement du chiffre d'affaires B2C passant de 20 Mds€ à 81,7 Mds€ entre 2008 et 2017 (source Fevad, observatoire du numérique 2018).

Le sujet du numérique est très vaste, dès lors que le digital est maintenant présent dans tous les domaines aussi bien industriels et économiques que dans la vie privée. Son impact peut être approché de multiples façons, depuis les différentes composantes de l'analyse du cycle de vie des produits (Consommation d'énergie pour la production, ressources rares, eau, usage, fin de vie et gestion des déchets) jusqu'aux gains liés à l'usage des TIC, ceci de manière mondiale, européenne ou française.

La mission s'est concentrée sur les sujets suivants :

- L'impact des TIC utilisés en France, à la fois sur leur production (même si elle n'est pas en France) et sur leur usage, ceci sur les plans de l'électricité consommée et du CO₂ émis. Les aspects utilisation de ressources rares (matériaux, eau...) n'ont pas été étudiés. La gestion des déchets a fait l'objet de quelques compléments.
- L'évolution de cet impact sur les dix dernières années sur les plans qualitatifs (quels usages) et quantitatifs, et un essai de prévision sur les 5 à 10 ans à venir.
- Un certain nombre de recommandations liées à ces analyses, afin de minimiser les impacts négatifs des TIC vis-à-vis du développement durable.

⁶ Il est à noter que ces deux pays de taille comparable ont nettement plus de data center que la France

La mission n'a pas cherché à lister et chiffrer les gains liés aux TIC, comme l'ont fait d'autres études (comme Smart 2020). Elle ne conteste pas l'impact souvent très positif des TIC pour la lutte contre le réchauffement climatique, mais estime que l'évaluation des gains éventuels est un exercice complexe et surtout très subjectif dans la mesure où il est quasiment impossible de faire la balance entre les effets positifs et les effets négatifs ou l'effet rebond⁷. Pour donner un exemple peut être caricatural mais néanmoins simple, les communications électroniques (téléphone, mail, visio) sont infiniment moins consommatrices d'énergie que les déplacements en avion, mais, a contrario, si elles n'existaient pas, on ne commercerait pas avec la Chine, et on éviterait aussi le petit nombre de déplacements physiques qui restent indispensables.

La mission a, en revanche, essayé de détecter quelques usages bénéfiques ou néfastes pour sensibiliser l'opinion ou proposer des réglementations.

1.2.2 La méthode de travail

Le présent rapport est la synthèse des travaux concernant le thème de l'année 2019 de la section Technologie et société du CGE. Un rapport d'étape a donné lieu à une présentation interne au CGE en Juillet 2019.

La mission s'est appuyée sur les travaux anciens (étude CGTI/ CGEDD/ ARCEP de 2008, étude Bio Intelligence de la DG INFSO, Ademe) et sur les récentes publications françaises et internationales (The Shift Project, AIE, Négawatt, Ademe, GreenIT, Andrae, EDF/RTE/Enedis, Syntec numérique, White paper CISCO 2019...). Elle a travaillé sur la base d'auditions des acteurs impliqués dans des études ou dans le secteur du numérique, notamment les opérateurs de communication électronique.

⁷ Exemple d'effet rebond : le temps dégagé par l'usage des TIC peut être consommé dans une activité plus énergivore.

2 LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE

2.1 La place du numérique dans l'équipement français

Le numérique au sens de **dispositifs permettant de capter, traiter, transmettre, consulter et stocker de l'information (données sous toutes formes, programmes)** irrigue largement l'économie française. La numérisation de certains services (télévision, vidéo...) et des réseaux de télécommunications multiplie les modes d'accès. Les usages ne sont plus l'apanage d'appareils ou de réseaux spécialisés, ce qui complique l'appréciation de l'empreinte de tel ou tel média.

Tableau 1 Equipement des ménages (observatoire de l'équipement des foyers en audiovisuel (O) et baromètre du numérique (B))

	Téléviseur	Smartphone	Ordinateurs	Tablettes	Internet fixe
2015	94,8%	68,4% (≥ 15 ans)	83,3%	42,6% (O)	83% (B)
2018	93,6%	75% (≥ 11 ans)	86,1%	48.5% (O) - 41% (B)	86% (B)
	Ménages	Personne de n ans et +	Ménage principale ^t	Ménage	Ménage

Par ailleurs, 47% des personnes de plus de 12 ans sans ordinateur ont un accès Internet.

Tableau 2 Site Web des PME (hors TPE) : principales caractéristiques et évolutions (source enquête TIC INSEE)

Personnel employé	Nombre	Disposant d'un site web (rapport 2017/évol 15-17)	Description des biens et services, prix	Liens depuis les média sociaux
10-19	99 927	61,6% / +0,8 pt	51,1% / +5,5 pt	27,2% / +3,9 pt
20-49	53 736	74% / +1,5 pt	63,3% / +8,4 pt	35,7% / +2,1 pt
50-249	23 062	87% / -0,9 pt	71,5% / +8,9 pt	46% / +5,6 pt

Les secteurs les moins équipés : « Construction », « Activités de services administratifs et de soutien, activités immobilières » et « Commerce de détail ».

Au plan institutionnel, la France se situe dans les pays où les procédures administratives en ligne sont bien avancées, certains sites imposant d'ailleurs le recours au numérique par rapport à toutes autres procédure (ex. demandes d'extrait de casier judiciaire B2, paiement de certains droits indirects) ou l'encourageant fortement (déclaration des revenus des personnes physiques).

2.2 L'approche de la consommation du numérique en France

La mission a suivi une approche analytique pour les principaux postes de consommation. En ce qui concerne les équipements, sont pris en compte le parc, la consommation et les usages.

2.2.1 Les parcs d'équipements

- **Parc des smartphones, ordinateurs (PC fixe, portable et ultraportable), tablettes, box-décodeur TV-ETTD optique** : le parc est estimé à partir des taux d'équipement ou de multi-equipement fournis par le CSA ou le baromètre du numérique, que nous confrontons avec les ventes de matériels en France, et lorsque des données existent, l'âge moyen. L'approche par le nombre de cartes SIM n'a pas été retenue du fait des téléphones portables hors smartphones dont la consommation électrique est très nettement plus faible que celle

des smartphones et de la possibilité de disposer de plusieurs cartes SIM pour un même terminal.

- **Parc des équipements de réseau, des serveurs et des data center** : nous utilisons une approche mixte combinant les ventes, le nombre d'employés en fonction du secteur d'activité, la performance extra-financière issue des rapports annuels des principaux acteurs.

Lorsqu'un équipement est associé à un abonnement ou une donnée tierce caractéristique, nous l'avons pris en compte. Par exemple nous évaluons le nombre de box à partir du nombre d'abonnés haut débit ou très haut débit fourni par l'ARCEP.

Pour les **particuliers**, le baromètre du numérique est utilisé concomitamment avec l'observatoire de l'équipement des foyers en audiovisuel.

Pour les **entreprises**, nous exploitons le livre blanc Ademe-Green IT « Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel » de 2015 et l'écart entre le parc global calculé à partir des ventes et le parc résidentiel. A noter que cette méthode tend à comptabiliser l'équipement des micro-entreprises (auto-entrepreneurs, entreprises unipersonnelles...) avec les particuliers.

La mission a également examiné les données des importations-exportations publiées par la Douane. Cette approche est légitime dans la mesure où la plupart des matériels sont importés⁸. Ces statistiques donnent mois par mois les exportations et importations pays par pays, avec valeur, nombre et souvent la masse. Ces données résultent des déclarations en douane et la segmentation devrait permettre d'identifier le nombre d'UC, ou de téléviseurs. Cependant, il existe, pour les micro-ordinateurs, des déclarations dont la valeur unitaire est inférieure à 1 €, ce qui semble incompatible avec la valeur d'une unité centrale.

2.2.2 Les usages

Les usages résidentiels sont repris d'études diverses, en premier lieu le baromètre du numérique. Les plupart des autres études sont ponctuelles, ce qui pose un problème de continuité et d'assiette.

Elles ont toutes en commun de se fonder sur des sondages (plus de 10 000 personnes par trimestre pour l'observatoire de l'équipement des foyers en audiovisuel, 2 500 personnes pour le baromètre du numérique, sans doublon au niveau foyer⁹).

2.2.3 Les consommations

Matériels autonomes : la mission a analysé les caractéristiques d'un panel de modèles (capacité batterie, autonomie) calé sur les matériels les plus vendus et une hypothèse de nombre de charges annuelles. Les pertes induites par le chargeur ou la charge de la batterie sont prises en compte. Il est à noter qu'il est nécessaire d'utiliser des circuits de charge (avec convertisseurs DC - DC intégré) qui permettent de protéger la batterie lors de sa charge. Ils sont utilisés dans les équipements mobiles¹⁰. Leur rendement maximal est de l'ordre de 95 à 97%. La tension délivrée est de l'ordre de 4,2V pour des cellules Li-Ion de tension nominale de 3,6 ou 3,7V.

Application à la charge d'une batterie

⁸ Par exemple, pour les terminaux radio, il existe quelques fabrications en France de matériels professionnels, mais dont le nombre est très faible par rapport aux smartphones grand public.

⁹ La méthodologie du sondage évite de sonder plusieurs personnes d'un même foyer.

¹⁰ <https://www.techinsights.com/blog/apple-iphone-xs-max-teardown#costing>

Par exemple, une charge de batterie 3,7 V (resp. 3,8V) de 1 Ah soit 3,7 Wh tire 1 Ah fournie sous 5 V par le chargeur, soit 5 Wh. Le chargeur ayant un rendement de 73,4% (donnée Apple), le chargeur aura utilisé $5/0,734 = 6,8$ Wh au niveau du compteur d'abonné. Le rendement est de 54,3%. En tenant compte des pertes Enedis (env. 6%-6,2%) et de RTE (entre 1,6 et 2,2% selon les années), il faut produire près de 7,4 Wh pour charger une batterie de 3,7 Wh (resp. 3,8Wh). Le rendement total est de l'ordre de 50%.

Autres matériels : la mission a utilisé des données des fournisseurs, de l'Ademe ou de RTE.

Il est à noter :

- la forte disparité des consommations entre les sources pour un même matériel : RTE évalue la consommation annuelle d'une Box à 180 kWh/an et un opérateur affiche une consommation annuelle de 288 kWh,
- l'hétérogénéité des informations et l'opacité du passage en mode « veille » et « veille profonde ».

2.2.4 Le passage à la consommation électrique globale.

La consommation est exprimée en GWh production électrique nette, à savoir, l'énergie mesurée en sortie des transformateurs THT des centrales électriques. Elle prend donc en compte les pertes des réseaux BT-MT (principal opérateur Enedis) et HT-THT (Opérateur RTE). Les données sont tirées des bilans électriques publiés en rapportant la consommation non corrigée des aléas climatiques à la (production nette – exportations + importations). Ce choix intègre dans la conversion consommation compteur – consommation production électrique nette la consommation de l'équipement numérique, « compteur Linky » et de sa chaîne SI (réseau et traitement)¹¹.

2.2.5 Conversion en émission de CO₂

La conversion des kWh en CO₂ peut se faire à partir des bilans RTE, ou de chiffres globaux de l'Ademe. Les séries de RTE sont détaillées année par année et fournissent les émissions CO₂ par unité d'énergie produite nette (mesurée en sortie de centrale) : cette série cumule les consommations d'énergie fossile et l'autoconsommation de RTE publiées dans ses bilans électriques annuels. Elle ne prend pas en compte les consommations de CO₂ des deux principaux opérateurs en France (EdF et ERDF/Enedis) compte tenu de l'absence de données de leurs rapports RSE sur les Scope 1 et 2 concernant leur autoconsommation en France¹². Elle ne prend pas non plus en compte le contenu CO₂ de l'électricité importée, qui est souvent plus carbonée¹³.

¹¹ Consommation propre Linky de l'ordre de 0,27 à 0,3 TWh (15,6 M de compteurs fin 2018 – source rapport d'activité EdF 2018 p57, à 1,8 W de consommation moyenne – source Ademe) et de sa chaîne de traitement.

¹² https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/responsable-et-engage/rapports-et-indicateurs/indicateurs-developpement-durable/edf2015_indicateursperformance_vf.pdf

¹³ Les principaux pays fournisseurs de la France sont l'Allemagne et la Suisse, et, dans une moindre mesure, les autres pays limitrophes. L'électricité moyenne allemande est très carbonnée (420 à 560 gCO₂e/kWh) et celle de Suisse plus propre (24 gCO₂e/kWh en production propre mais 127 g en moyenne compte tenu de ses importations). Par exemple, en 2018, la France a importé 12,4 TWh de l'ensemble Allemagne-Bénélux – dont 10,1 TWh d'Allemagne, 7 TWh de Suisse, 4,4 TWh d'Espagne, 1,8 TWh du Royaume-Uni et 0,5 TWh d'Italie. L'import CO₂e rehausse d'environ 13,5 gCO₂e/kWh le contenu carbone de la France.

Année	2014	2015	2016	2017	2018
tCO ₂ e/GWh (ou gCO ₂ e/kWh)	44,4	52,0	63,4	59,7	43,5

Historique des émissions en tCO₂e de la production électrique nette en France (d'après bilans électriques RTE)

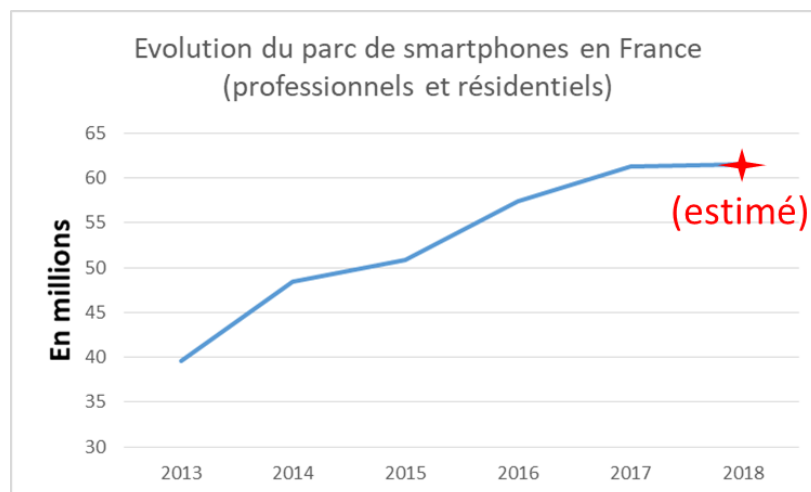
L'Ademe utilise de son côté un contenu en équivalent CO₂/kWh qui est détaillé suivant les usages (par exemple le chauffage se produisant en hiver est plus carboné que l'ECS, cf. annexe 5) mais qui ne donne pas une valeur spécifique pour le numérique. Par ailleurs, l'ADEME ne publie des valeurs qu'irrégulièrement et elles changent peu (84 g en 2008, 81 g en 2014). Elles intègrent 26 g pour les émissions de la fabrication et transport des combustibles utilisés.

Dans le présent chapitre, on utilisera des valeurs RTE car elles sont documentées année par année, mais dans les bilans globaux du chapitre suivant (chapitre 3), on utilisera une valeur unique de l'ADEME (84 g en 2008, 81 g en 2015 et 2018).

2.3 Le parc du numérique

2.3.1 Le parc de smartphones

La France dispose d'un taux d'équipement en smartphone important avec plus de 75% des personnes équipées (source baromètre du numérique). L'évolution du parc dépend de deux facteurs : la démographie et les évolutions des réseaux. Ainsi en période d'introduction d'une nouvelle génération de protocoles mobiles (4G), une part des utilisateurs potentiels repoussent leur équipement, soit en primo-équipement, soit en renouvellement. Une atonie de l'offre correspond à une baisse des ventes de renouvellement. L'âge moyen du parc croît, en partie du fait du développement récent du marché des smartphones reconditionnés.

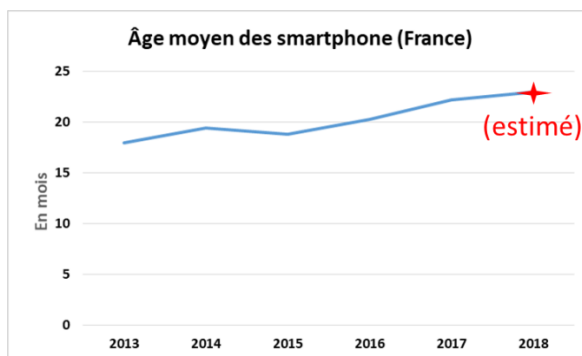


Source mission, d'après ventes de smartphones et âge moyen – GFK et Kantar

Sur un parc estimé de smartphones à près de 61 M (60,9) M en 2018, environ 8 M correspond à des smartphones professionnels. Il est à noter un taux important de multi-équipements (de l'ordre de 50%) correspondant d'une part au double équipement professionnel – personnel mais aussi par le fait que les Français conservent leur terminal lorsqu'ils le renouvellent avant panne définitive.

Evolution de l'âge moyen

Kantar Worldpanel a publié une estimation de l'âge moyen des smartphones, à partir d'un suivi de panel pour la période 2013-2017.



Source Kantar Worldpanel et, pour 2018, estimation mission

Evolution de la taille de l'écran et consommation

L'écran est avec le processeur le composant qui consomme le plus, et il conditionne la taille de la batterie et son coût d'usage.

En 2013, la taille moyenne était de 4', et en 2014 de 4,4' (d'après GFK cité par ZdNet¹⁴). Une extrapolation pour 2018 tenant compte des caractéristiques du marché français (part de marché d'Apple et des smartphones sous Android) est de 4,6'. L'examen des caractéristiques techniques d'un échantillon de smartphones donne une relation de la consommation proportionnelle à la surface de l'écran ou au carré de sa diagonale.

Si la consommation moyenne¹⁵ était de 1 en 2013, elle serait de 1,3 en 2018.

Evolution de l'écosystème du smartphone

Le smartphone dispose de trois autres modes de connexion en sus des connexions 2G-3G-4G :

- Via le Bluetooth, de multiples objets peuvent se connecter numériquement au smartphone. Ceci implique l'introduction de fonctions de traitement dans les accessoires tels les écouteurs¹⁶. De nombreux accessoires portables personnels (bracelets connectés, montres connectées, chaussures) utilisent le smartphone comme plateforme de connexion avec l'utilisateur et le reste du monde. L'apparition de composants RF à très basse consommation et faible encombrement facilite ce développement.
- Via le WiFi, pour la communication avec des accessoires ou des équipements fixes haut débit. Du fait de la consommation des composants RF WiFi, plus importante que le Bluetooth, l'usage du WiFi limite l'autonomie et conduit ou à recharger plus souvent, ou à utiliser des batteries externes ou prolongateurs d'autonomie¹⁷. Un usage majeur du WiFi est la communication du smartphone avec Internet via la box et le réseau fixe. Cet usage pourrait fortement évoluer avec le développement de la 4G et de la 5G, moins handicapant pour l'autonomie du smartphone. Les deux éléments majeurs influent sur l'usage : le débit et la fluidité de la liaison.

¹⁴ Source <https://www.zdnet.fr/actualites/chiffres-cles-les-ventes-de-mobiles-et-de-smartphones-39789928.htm>

¹⁵ Consommation électrique pour recharger la batterie du smartphone.

¹⁶ Croissance du marché poussée par les casques et écouteurs bluetooth, source GFK <https://www.gfk.com/fr/insights/press-release/electronique-grand-public-138mdsEUR-de-ca-monde-toujours-en-croissance/>

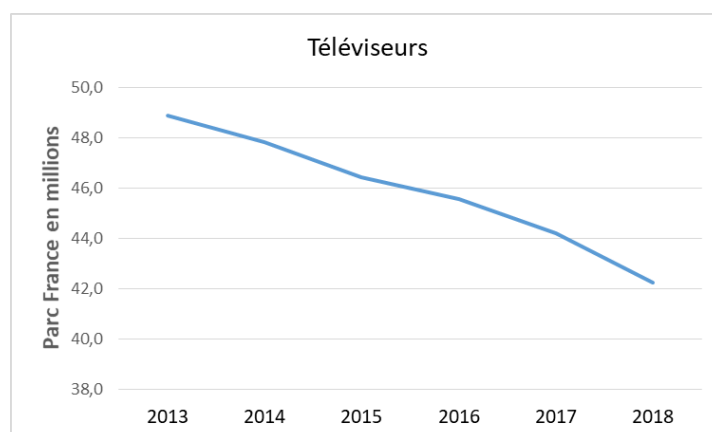
¹⁷ Batterie spécifique de 3.7 ou 3,8V de grande capacité (2 à 10 Ah) chargeable sous 5 V et permettant de faire fonctionner le smartphone grâce à un circuit d'adaptation de tension lui permettant de délivrer au smartphone du 5V. Son utilisation conduit à une perte d'environ de 30% supplémentaire. Il existe des modèles à 20 voire 50 Ah, capables de prolonger l'autonomie d'un ultra-portable.

Pour les personnes en déplacement, les coûts d'itinérance ne jouent plus que pour les visiteurs non européens.

- Via NFC¹⁸, pour la communication à très courte distance (< 20 cm) et à bas débit. Il n'existe que des usages peu intensifs (paiements sans contact, passage de portillons, etc.). L'équipement des smartphones n'est pas systématique et la possibilité d'utiliser cette liaison n'est pas nécessairement ouverte par le fabricant. Il est appelé à se diffuser du fait de la généralisation du paiement sans contact avec les terminaux de paiement.

2.3.2 Le parc de téléviseurs

La mission a estimé le parc de téléviseurs à partir de la statistique de foyers en France, le taux de foyers équipés et le nombre de téléviseurs par foyer¹⁹ de l'observatoire CSA.



Estimation du parc de téléviseurs résidentiels en France (source mission)

En 2018, le parc de téléviseurs résidentiels est ainsi évalué en hypothèse de base à 42,2 millions.

Il est à noter que le baromètre du numérique version 2019, donne un nombre de téléviseurs par foyer de l'ordre de 1,62 postes alors que l'observatoire CSA donne 1,5. L'écart représente 2,6 M de téléviseurs.

Les évolutions sous-tendant cette baisse sont, d'après le CSA :

- Le multi-équipement en télévision, PC, smartphones et tablettes, permettant de voir la télévision à partir d'autres terminaux que le poste de télévision,
- La disponibilité de la télévision par les réseaux télécommunication fixe (HD de plus de 8 Mb /s et THD) ou mobile (4G),
- Une désaffection de la télévision dans les foyers unipersonnels (57,1% ds foyers sans télévision sont unipersonnels²⁰ alors que que ces ménages ne représentent que 36% de ménages français)

¹⁸ Near Field Communication

¹⁹ Ce nombre n'étant disponible que depuis 2015 à l'Observatoire du CSA, sur la période 2012-2014, la mission a utilisé des données de Statista.

²⁰ Observatoire de l'équipement audiovisuel en France 2^{ème} semestre 2018

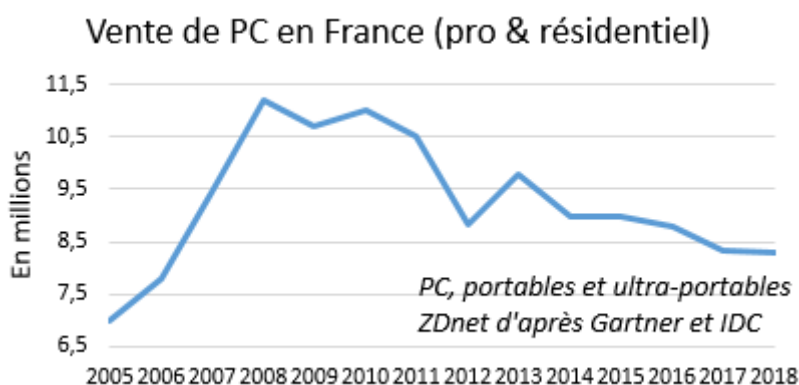
Cependant, le téléviseur est actuellement très majoritairement connecté, et donc, permet de visualiser des contenus Internet. Son usage se diversifie.

Et d'après le baromètre du numérique le transfert du temps passé sur les écrans migre de la télévision vers Internet, y compris la vidéo en streaming, rendant moins utile le multi-équipement.

Il est à noter que le livre blanc publié par l'Ademe en 2015²¹ sur l'équipement IT des entreprises a relevé 1600 téléviseurs pour 71 300 postes informatiques (55 000 PC fixes, 13 700 portables et 2 600 clients légers), soit un taux de 2,2%. En supposant que ce taux soit représentatif de l'équipement national et stable, le parc de téléviseurs en entreprises (administrations comprises) serait de 0,6 M. Le parc français de téléviseurs global serait de l'ordre de 42,8 M (hypothèse de base) à 45,4 M (hypothèse haute) en 2018.

2.3.3 Le parc d'ordinateurs

L'estimation du parc d'ordinateurs a été réalisée à partir des données de vente, de l'estimation d'âge moyen²², de publications épisodiques concernant les parcs d'ordinateurs (en particulier d'ordinateurs portables – GFK) et des résultats de sondages réalisés par le CSA depuis 2015 concernant le nombre d'écran d'ordinateur par foyer recevant la télévision. Etant donné le taux d'équipement (86%), ce nombre d'écran a été considéré comme représentatif de l'équipement moyen.



L'observatoire CSA donne un pic d'équipement en 2017 (cf. annexe 8). De son côté, le baromètre du numérique donne sur la période 2012-2018 une lente croissance des foyers sans ordinateurs (19% en 2012, 20% en 2015, 22% en 2018), soit un écart de 4 à 8 pts avec le CSA. Cependant, cette série historique masque certaines fluctuations et la valeur du second semestre 2018 CSA semble hors tendance.

	2015	2016	2017	2018
Taux CSA	1,4 ^a à 1,5 ^b	1,4	1,4 ^a à 1,5 ^b	1,5 ^b à 1,6 ^a
Taux retenu	1,40	1,39	1,38	1,37

Evolution du multi-équipement en ordinateurs (fixes, portables et ultraportables, à l'exclusion des tablettes) ^a : observatoire 1^{er} semestre 2018, ^b : 2^{ème} semestre 2018

²¹ Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel

²² Les études sur l'âge moyen des ordinateurs en France sont rares. Seule étude trouvée : 2011, sondage fait par société Crucial auprès de 3000 utilisateurs aux USA, GB, D et F. L'âge moyen était de 4,67 ans.

En effet, le maintien du taux de 1,6 conduirait à un accroissement de 6 millions d'ordinateurs chez les particuliers entre 2017 et 2018, soit nettement plus que le parc d'ordinateurs vendus à des particuliers en 2018, et une baisse du même ordre dans les entreprises. Les indications du baromètre du numérique ne confirment pas de rupture aussi importante dans les historiques.

L'écart de taux entre les versions de l'observatoire des 1^{er} et 2nd semestres conduit à une incertitude de près de 3 M sur le parc d'ordinateurs résidentiels 2018.

Eurostat estime à 60% la part des salariés qui utilisent régulièrement un micro-ordinateur en 2017²³. L'INSEE dénombre 25 millions de salariés en 2017, et Eurostat 23,624 au second trimestre 2017²⁴. Le parc de terminaux correspondant est de l'ordre de 14,2 M à 15 M. Certains non-salariés (dont professions libérales, chefs d'entreprises auto-entrepreneurs²⁵) disposent également de micro-ordinateurs, soit environ 2,8 M. Les entités équipent certains de leurs employés de plusieurs ordinateurs ou en mettent à disposition de leurs clients ou usagers (ex. secteur de l'éducation 0,73 M en 2014 dans les collèges²⁶ 1,4 M dans l'ensemble des établissements 1^{er} et 2nd degré en 2019²⁷ et de la formation, Pôle Emploi). Enfin, les entreprises utilisent des PC en organes techniques (passerelles, serveurs, ...).

Une autre approche en examinant le nombre d'entreprises et d'employés par secteur permet de conforter une évaluation du nombre de PC hors ceux mis à disposition des clients ou usagers et hors PC techniques fondée sur les chiffres de 2016 à près de 18 M.

La mission évalue le parc 2018 de PC en France à 64 millions, dont 41 millions chez les particuliers (y compris certains autoentrepreneurs) et 23 millions en entreprise & administrations, y compris les PC techniques et les PC mis à disposition des clients et usagers. Ce parc se ventile en 36,5 M PC portables, y compris les ultraportables, et 27,5 M PC fixes.

Cette évaluation est associée à un âge moyen du parc de 53 mois ou 4,45 ans, proche de 4,67 ans de l'étude Crucial de 2011²⁸, ou des durées de détention dans les entreprises (5,5 ans pour les PC fixe ou les 5,3 ans des PC portables²⁹).

Nota : l'estimation des PC entreprises ne couvre pas les PC techniques (par exemple PC d'administration en data center ou UC incorporées à des équipements tels les écrans publicitaires, dont la consommation est intégrée à ces installations ou équipements).

²³ Cité par Chiffres-clé du numérique – DGE - https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/Chiffres_cles/Numerique/2018-Chiffres-cles-du-numerique.pdf

²⁴ Nota : Eurostat se fonde sur les définitions du BIT qui restreint l'emploi aux personnes entre 15 et 64 ans. Or, il existe des personnes employées au-delà de 64 ans (professions libérales, fonctionnaires, etc.).

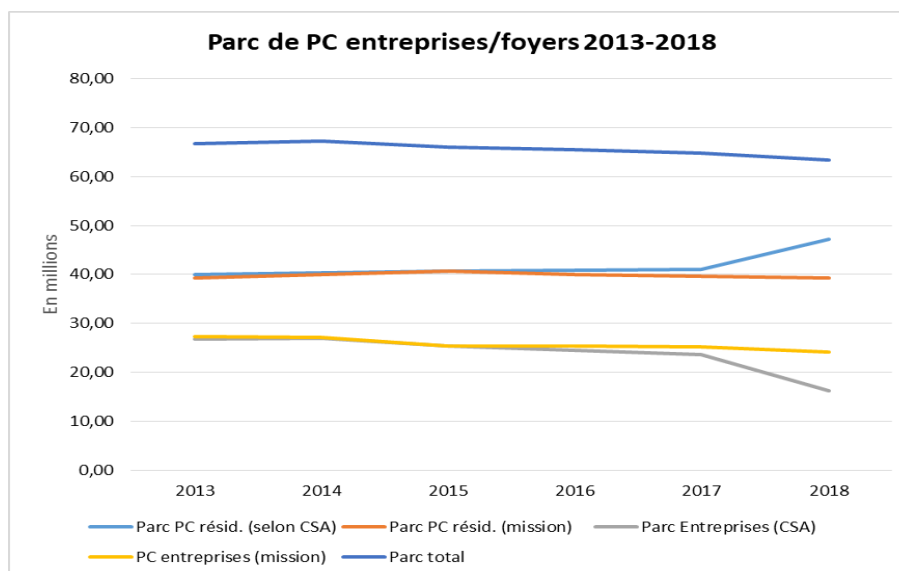
²⁵ Population représentant 2,8 Millions de personnes en 2017 – source employés INSEE 2018 – salariés Eurostat

²⁶ En 2014 : 0,73 millions de PC dans les collèges, soit 22 PC pour 100 collégiens en 2014, dont 58% de moins de 5 ans d'âge, <https://www.education.gouv.fr/cid84888/l-equipement-informatique-a-double-en-dix-ans-dans-les-colleges-publics.html>, et 3,335 millions de collégiens <https://www.education.gouv.fr/cid109996/les-chiffres-cles-du-systeme-educatif-annee-2014-2015.html&xtmc=brevet&xtnp=22&xtr=218>

²⁷ Enquête ETIC 2019

²⁸ Citée par : <https://www.cnetfrance.fr/news/augmenter-la-memoire-augmente-la-duree-de-vie-des-pc-39760677.htm>

²⁹ Source ADEME <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/registre-eee-donnees-2017-201711-rapport.pdf>. Nota : la durée de détention prend en compte le stockage avant mise en service ou entre deux utilisateurs ou entre le retrait et le dessaisissement (vente, élimination, ...). Elle est plus longue que la période d'utilisation.



Estimation du parc de PC (fixe, portable, ultraportable, hors tablettes)

Quelques tendances concernant l'évolution du parc d'ordinateurs : le parc d'ordinateurs se segmente selon 2 axes : professionnel/résidentiel, fixe/portable et usages.

Mobilité \ P/R	Professionnel	Résidentiel	Tendance de fond
Fixe	ND	≈ 17%, ventes en baisse	Diminution de taille (hors jeux ¹)
Portable	ND	≈ 83%, ventes en baisse	Matériel plus léger, SSD Désaffection des ultraportables simplifiés (10 – 11'), remplacés par des tablettes ou des ultraportables, voire des smartphones
Tendance de fond	Allègement du poste de travail (virtualisation, SaaS en particulier pour la bureautique, ...)	86% des foyers sont équipés (CSA) Usage général concurrencé par smartphone, TV connectée & services Cloud (SaaS, streaming) Jeux : peu de concurrence sur les jeux évolués (en ligne, réalité virtuelle, ...)	

Tendances de fond pour le marché des ordinateurs

¹ source GFK : <https://www.gfk.com/fr/insights/press-release/pc-gaming-la-dynamique-du-marche-continue-1/>

En 2015 et 2018, la mission propose de retenir les parcs d'ordinateurs suivants en hypothèse de base :

Année	Total (millions)	Portables résidentiels	Portables pro	Fixes résidentiels.	Fixes pro
2015	65,9	28,6	8,1	12,0	17,2
2018	63,6	27,9	8,5	11,4	15,7

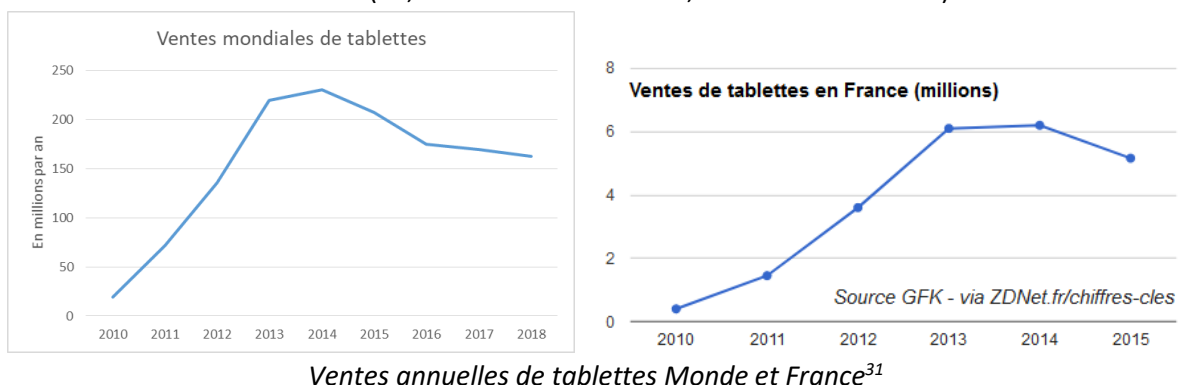
Estimation du parc d'ordinateurs France (en millions) – Mission d'après données Gartner, IDC, INSEE, et échange avec GKF

Nota : Certains ordinateurs peuvent être utilisés aussi bien en activité professionnelle et en activité privée, en particulier dans les microentreprises.

L'estimation haute est de 66,6 M, l'écart provenant des ordinateurs résidentiels (cf. supra).

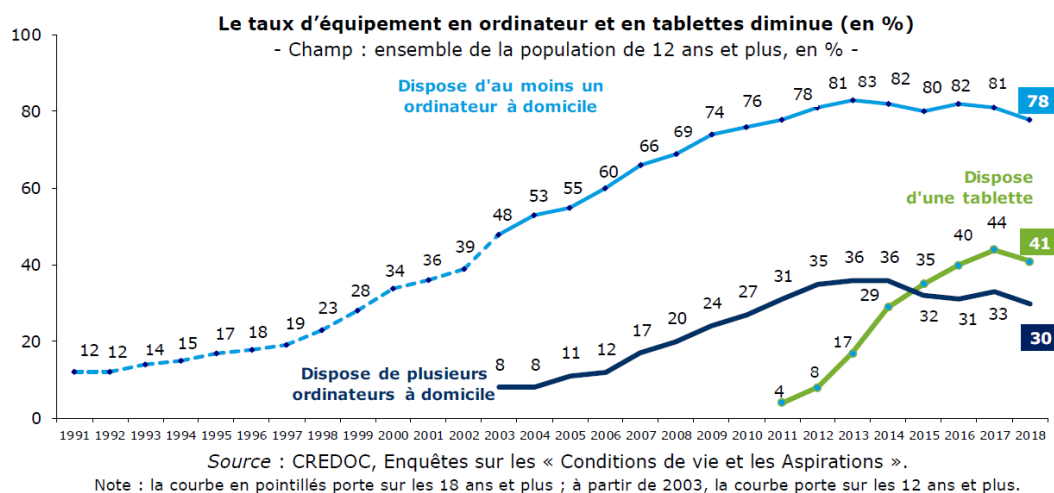
2.3.4 Le parc de tablettes

Concurrent direct des ordinateurs portables, les ventes de tablettes dépendent à la fois de la progression des smartphones en taille d'écran (en 2012-2013, les ventes de tablettes Android étaient portées par des modèles 7"³⁰, à comparer aux smartphones actuels de 6' et plus) et des ultraportables. Après un démarrage fort dans les années 2010-2013, les ventes de tablettes se stabilisent puis baissent. Les ventes en France suivent la même tendance. En juin 2019, Google annonce même son retrait du marché avec l'abandon du développement de nouveaux modèles, ce qui pourrait affecter les ventes de tablettes Android (60,2% du marché en 2018, tendance à la baisse).



Ventes annuelles de tablettes Monde et France³¹

En France, l'enquête 2019 du baromètre du numérique estime à 41% le nombre de personnes disposant d'une tablette, en baisse de 3 points par rapport à 2018.

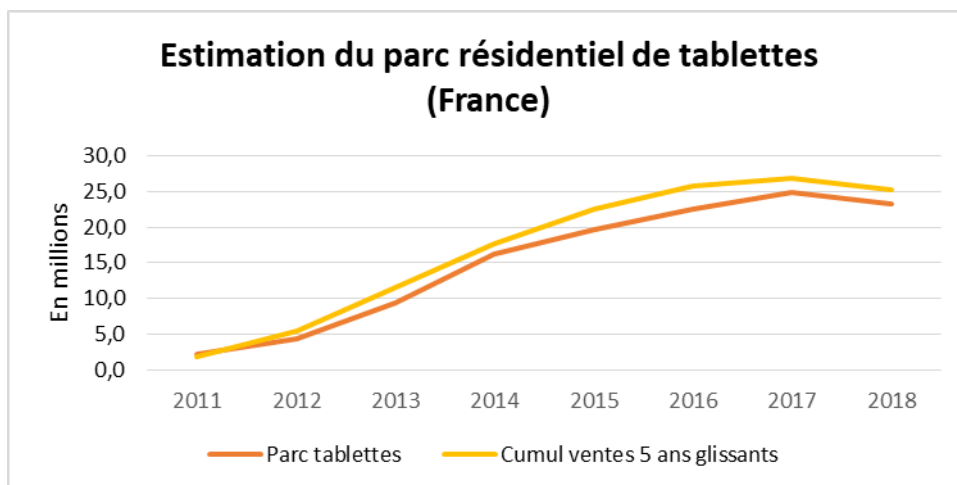


Comme l'échantillon du baromètre du numérique ne comporte au plus qu'une personne par ménage, le taux a été considéré comme représentatif de l'équipement des ménages, tablettes professionnelles incluses. Seul 7% des internautes se connectent principalement au Web via une tablette.

³⁰ <https://www.zdnet.fr/actualites/chiffres-cles-le-marche-des-tablettes-par-os-39790133.htm>

³¹ Source : ZDNet <https://www.zdnet.fr/actualites/chiffres-cles-le-marche-des-tablettes-39789571.htm>

L'éducation nationale et les régions utilisent ce support, moins onéreux que les PC, pour l'équipement des lycéens³². L'enquête annuelle du ministère de l'éducation nationale ETIC 2019 décompte 314 555 tablettes et 81 011 tablettes-PC dans les premier et second degrés.



Estimation du parc de tablettes (France), mission d'après baromètre du numérique 2018

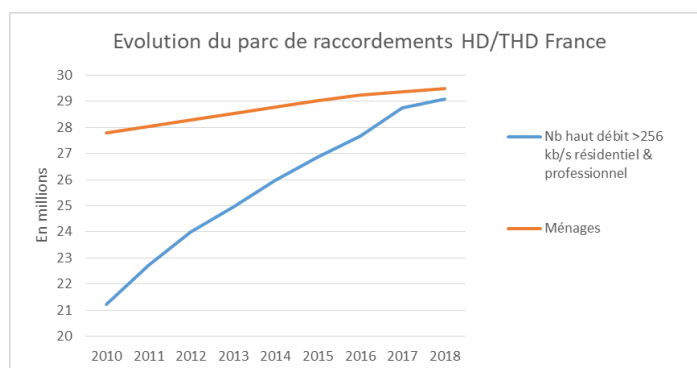
Elle conduit à environ 23 M de tablettes en France. Ce chiffre est très proche du cumul des livraisons de tablettes en France sur les 5 années glissantes.

Le taux de l'observatoire CSA (48,5%) paraît excessif, essentiellement du fait du vieillissement des batteries.

2.3.5 Le parc de box

L'évaluation du parc de box est réalisée à partir des abonnements haut débit au sens de plus de 256 kb/s. Ces abonnements correspondent à tous types de raccordements fixes : ADSL, satellite, fibre et réseaux câblés. Les lignes analogiques et les raccordements sur réseau 4G en sont exclus (env. 100 000 au niveau France).

D'après l'OCDE, le nombre d'abonnements haut débit au sens plus de 256 kb/s est de 28,667 millions en 2018. Comme il y a une box derrière chaque abonnement Haut débit, le parc de box est équivalent.



Source OCDE et INSEE

³² Source : <https://www.iledefrance.fr/177000-tablettes-et-ordinateurs-concus-en-france-pour-les-lyceens>

2.3.6 Les réseaux

Le parc des équipements de réseau de télécommunications n'a pas été étudié. Seul l'a été le parc des équipements de réseaux des entreprises lié aux postes de travail. Ce parc est constitué de routeurs ou switches. Leur rôle est de concentrer les flux de données entre les postes de travail et téléphones IP et les points d'accès réseau de l'immeuble ou la salle informatique de l'immeuble.

En absence de données sur le marché français de des équipements, il a été utilisé l'étude Green IT du livre blanc Ademe 2015 et une extrapolation à partir du nombre de postes de travail et du ratio observé en Poitou-Charente. Le parc français serait de 2,6 M de routeurs en 2015 et de 2,5 en 2018, en légère baisse.

Les facteurs de hausse : la progression de l'informatisation et de la robotique, avec développement des réseaux industriels. Les facteurs de baisse : la progression de Skype, et le transfert du téléphone sur IP vers le poste de travail.

Il est à noter que dans les TPE et micro-entreprises, l'équipement réseau peut se limiter à une box pro, comptée par ailleurs avec les box.

2.3.7 Le parc d'imprimantes

Le Syndicat national de l'édition et des solutions informatiques publie depuis 2017 des statistiques de vente d'imprimantes en France, sans pour autant faire la distinction entre imprimantes grand public (monoposte, jet d'encre) et professionnelles (jet d'encre, laser, haut débit). Sa ventilation porte sur les imprimantes multifonction, 90% des ventes en 2018, les imprimantes mono-fonction, 10% des ventes et les imprimantes spécialisées (10.000 ventes annuelles).

Les ventes annuelles totales³³ sont de l'ordre de 3,6 millions d'unité en 2018, entre 3,9 et 4 millions entre 2013 et 2017.

La répartition entre imprimantes professionnelles et résidentielles est calculée à partir des données Inforsource relayées par ZDNet³⁴. Elle correspond à environ 28-29% des ventes sur le segment pro, le reste étant le segment Grand public. Cette évaluation de la part professionnelle omet les achats par des entreprises d'imprimantes dans les circuits de distribution grand public, qui sont alors comptées en résidentiel.

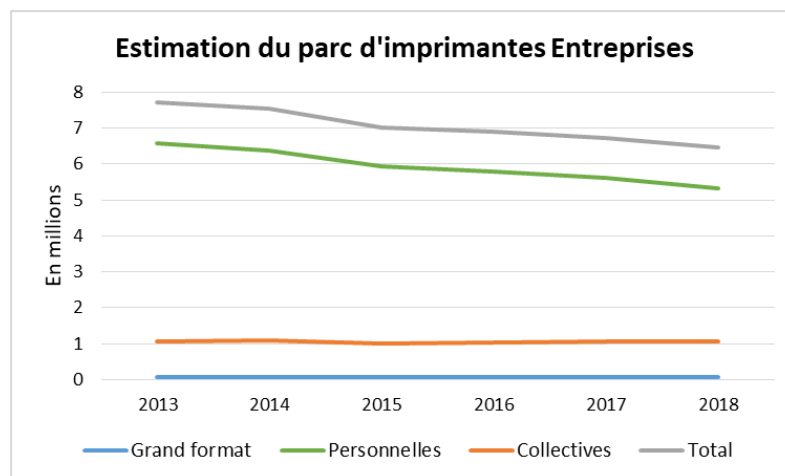
L'équipement des entreprises a été approché par :

- Un équipement large en copieurs partagés (ou départementaux), à raison d'un pour 20 postes de travail, en excluant les entreprises de moins de 10 employés et une partie des entreprises entre 10 et 19 employés et, pour certains secteurs des entreprises entre 20 et 49 salariés (construction, ...), soit 5M de postes de travail.
- Un équipement large en imprimantes personnelles à raison d'une pour 2 postes de travail dans les TPE. Dans les entreprises non dotées de copieurs départementaux, quelques imprimantes par entreprises, correspondant à l'équipement des services administratifs et des locaux d'équipes. En dehors de 5M de postes, l'équipement est évalué à environ 1 imprimante pour 5 postes de travail, en légère décroissance.
- Un parc d'imprimantes grand format de 60.000 correspondant à 6 ans de ventes.

³³ Cabinet Inforsource relayé par : 2017 et 2018 : <http://www.snessii.com/donnees-marches.aspx>, pour 2016 : http://www.snessii.com/medias/24052018_CP_SNESSII_March%C3%A9%20Impression_France_2017.pdf, pour 2013, 2014 et 2015 : ZDnet : +0,1% 2014/2013, -0,4% 2015/2014 <https://www.zdnet.fr/actualites/impression-le-marche-a-bu-la-tasse-en-europe-en-2015-39832936.htm>

³⁴ <https://www.zdnet.fr/actualites/impression-le-marche-a-bu-la-tasse-en-europe-en-2015-39832936.htm>

- Le parc ainsi calculé est de 7 M en 2015 et de 6,4 M en 2018.
- L'étude ADEME de 2017 susmentionnée donne une durée de détention des autres périphériques, dont les imprimantes, de 5,7 ans, conduisant à un parc de 6,4 M.



En supposant une durée de détention équivalente pour les particuliers, le parc d'imprimantes résidentielles serait de l'ordre de 15,5 M, ce qui correspondrait à un âge moyen de 5,6 ans.

2.3.8 Le parc des serveurs/data centers

L'évaluation du parc de serveurs en France est extrêmement difficile devant l'opacité des chiffres et l'imprécision des données des Douanes³⁵.

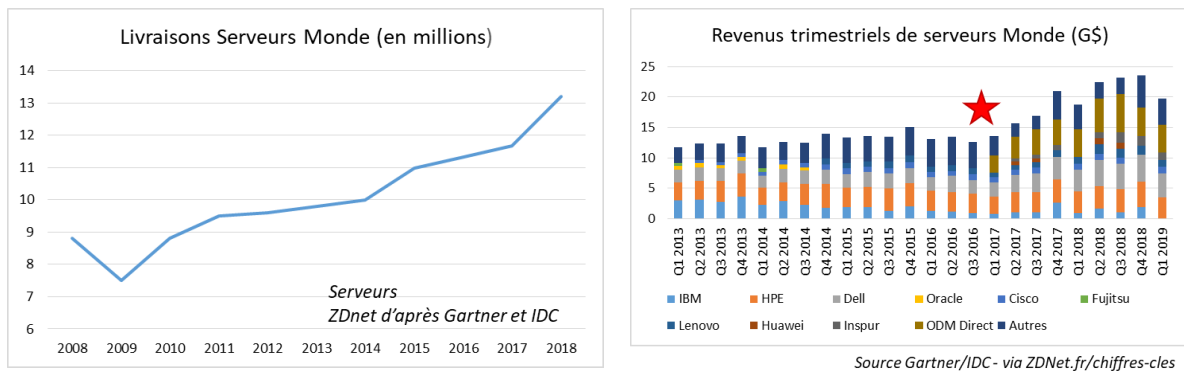
La mission propose d'évaluer le parc de serveurs en fonction du poids du PIB français dans le PIB mondial et d'un calcul du parc de serveurs mondial à partir des ventes de serveurs.

Historique de vente de serveurs (en volume)

Les données sont fondées sur des publications du Gartner reprises dans la presse spécialisée, avec une confrontation avec des données IDC.

Il est à noter que jusqu'en 2016, les ventes directes des constructeurs aux grands comptes ne sont pas comptées.

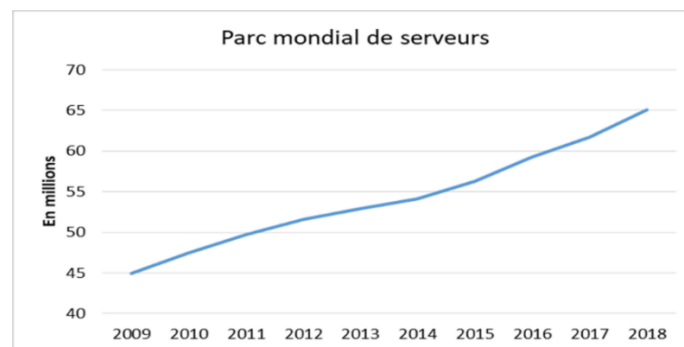
³⁵ Les statistiques du commerce extérieur devraient être une source étant donnée la faiblesse de la production française en matière de serveurs, de smartphones et de PC. Celle-ci se limite à quelques terminaux professionnels durcis non assimilables à des smartphones et des serveurs HPC. L'examen des enregistrements montre sur certains pays des importations de coût unitaire à moins de 25€, voire moins de 1€, ce qui est peu compatible avec des PC ou des serveurs neufs ou reconditionnés, voire à des terminaux, mais compatibles avec l'imputation de pièces détachées ou d'accessoires sur des codes qui ne leurs sont pas destinés.



Evolution des livraisons de serveur (Monde) en volume 2008-2018 et revenus trimestriels (2013-2019). Les ventes ODM isolées depuis 2017 correspondent principalement aux ventes aux opérateurs du Cloud.

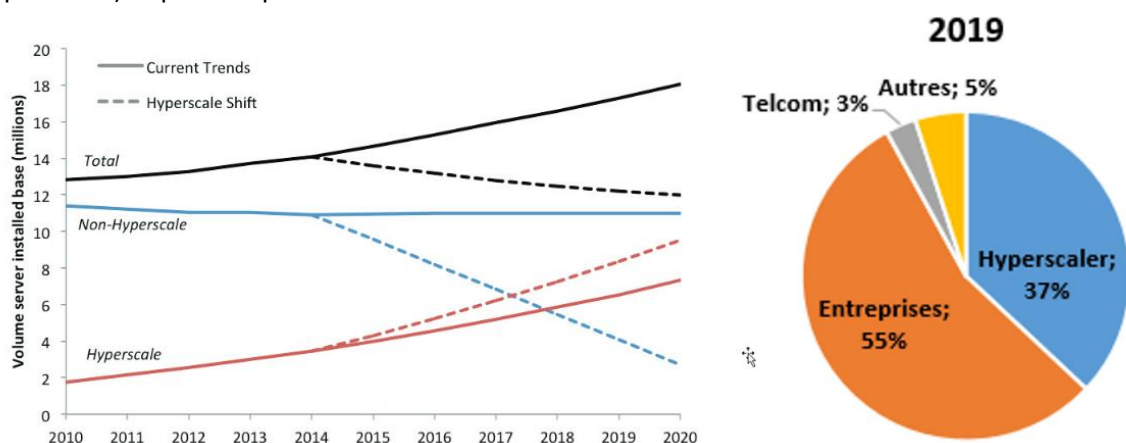
Le parc mondial de serveurs était évalué début 2010 à 45 millions³⁶.

Il est à noter que la croissance du nombre de serveurs depuis 2009 repose largement sur les grands data center d'hébergement et du Cloud, avec des serveurs lames. Ces chiffres omettent les productions internes de certains opérateurs du Cloud (ex. OVH en France).



Estimation du parc mondial de serveurs (source Mission d'après données Gartner et IDC)

Il est à noter que la croissance est poussée par les grands centres de calcul des opérateurs du Cloud (hyperscaler) et par les opérateurs de télécommunications.



36

<http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2010/03/16/04016-20100316ARTFIG00481-les-serveurs-informatiques-ogres-energivores-.php>

Parc de serveurs installés dans le monde en scénario « tendanciel » et « tournant hyperscale » 2016³⁷ *Répartition des livraisons de serveur par segment de clients niveau Monde (d'après DRAMeXchange)*

Il est à noter que la répartition entre serveurs « hyperscale³⁸ » et autres de 2019 correspond au scénario tendanciel de 2016. Il ne semble pas que la migration annoncée vers des DC hyperscale ait eu lieu.

D'après le rapport « Développement Eco-responsable et TIC (DETIC) » (CGTI, 2009) et les statistiques de livraisons de serveurs Gartner, la France a représenté entre 3,4 et 3,6% en volume du marché mondial des serveurs. Trois points rapportés en 2016 et 2017 donnent selon IDC, une baisse sensible de la part de la France dans les livraisons mondiales. Ces points sont en accord avec une progression des ventes EMEA en volume plus faibles que la croissance mondiale, et, à l'intérieur de l'Europe, le développement de grands centres de calcul en nuage en Irlande. Le parc français pourrait être évalué à 1,6 million de serveurs en 2009. La mission estime le parc actuel à environ 2 millions de serveurs.

Ce parc pourrait croître du fait de l'implantation de centres de calcul en nuage en France suite aux dispositions fiscales prises en faveur des opérateurs électro-intensifs.

Cas du High Performance Computing

Ce marché très spécifique ne concerne que peu de machines, mais dont les consommations unitaires sont très importantes (18,5 MW pour le plus consommateur au niveau mondial, 4,2 MW pour un ordinateur de Total, 3,2 MW pour une machine du CEA). Chaque machine est comptabilisée comme un serveur dans les statistiques. Les plus grosses machines rivalisent avec les grands DC des opérateurs du Cloud.

Le palmarès Top500 des ordinateurs à haute performance donne en 2015 et 2018 18 machines en France. Leur puissance cumulée est de 16,8 MW pour 766 540 cœurs³⁹ en 2015 et 22,7 MW pour 1 792 656 cœurs en 2018.

Au global, la consommation de ces ordinateurs est de l'ordre de 200 GWh, faible par rapport aux serveurs et data center.

Approche de la consommation des data centers

Le parc de serveur dépend fortement des implantations des data center des opérateurs du Cloud. Cependant, en absence d'autres données, la mission relève que le développement du numérique dans les pays développés est assez semblable, même si les grands opérateurs de Cloud (Google, Amazon AWS, Microsoft Azure et Rackspace), ne communiquent pas sur leur parc de serveurs physiques. En 2012, un chercheur a estimé le parc de serveurs d'Amazon à 454 000 par une méthode indirecte et aucun centre hyperscale en France (1 centre à Dublin, Irlande).

Le premier opérateur français de Cloud (OVH) a environ 350 000 serveurs dans le Monde, l'essentiel étant en France, compte tenu de sa base historique.

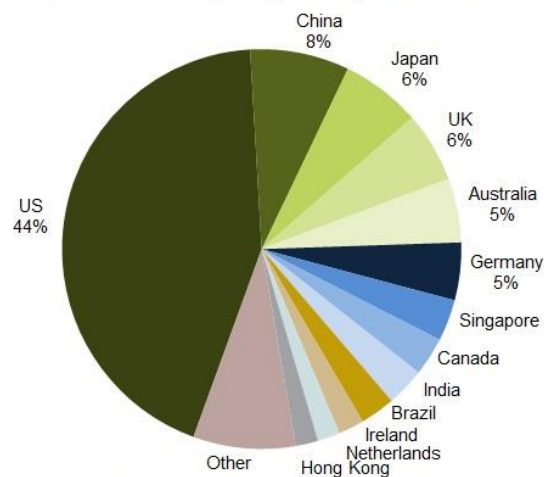
³⁷ <http://www.neurones-it.com/hyperscale-datacenter-de-demain/>

³⁸ Hyperscale : data centers de plus de 10.000 serveurs.

³⁹ Cœur : unité de calcul capable de traiter un programme. Un processeur peut avoir sur une même puce de 2 à 12 cœurs. Un serveur courant dispose en général d'un ou deux processeurs.

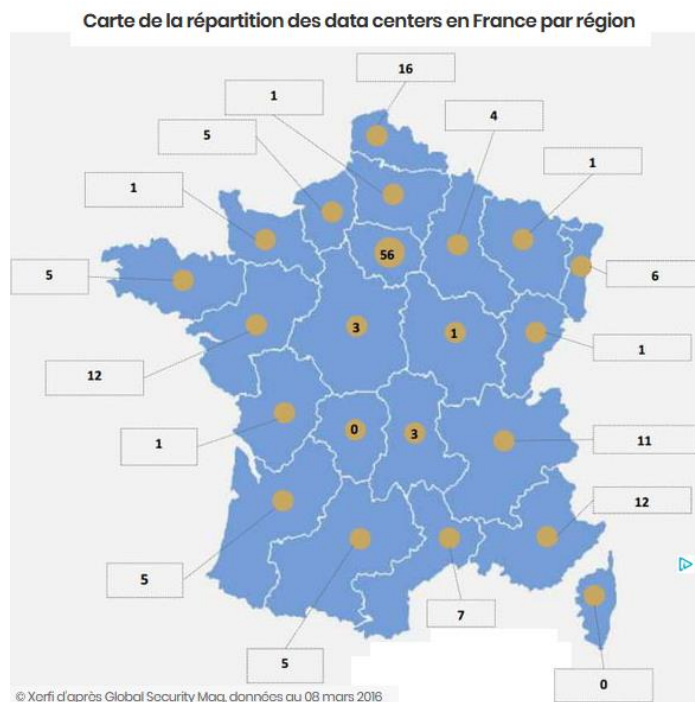
La localisation des DC hyperscale mondiale établie par Synergy Research group montre que la France représente moins de 1,5% des DC mondiaux, derrière Hong Kong, les Pays-Bas et l'Irlande.

Hyperscale Data Center Operators
Data Center Locations by Country - December 2017



Source: Synergy Research Group

Localisation des data centers Hyperscale⁴⁰



Fin 2016, 182 DC sont recensés⁴¹.

Ils sont essentiellement situés en Île de France, avec plus de 180 000 m² de surfaces informatiques⁴².

Certains acteurs internationaux localisent des DC en France (Amazon Web Service et Microsoft Azure) en colocation (Equinix, InterXion) tandis que d'autres (Google, Oracle, Alibaba, Tencend) n'ont que des points de présence (interconnexion entre les réseaux des opérateurs télécoms français et leurs DC situés dans d'autres pays).

A noter, Online (groupe Iliad) déclarait en 2016 100 000 serveurs en service, soit environ 2 fois moins qu'OVH (350 000 serveurs Monde, dont au moins 150 000 France).

2.4 L'impact énergétique de la phase d'utilisation en France

2.4.1 Smartphones

La consommation énergétique des smartphones en phase d'utilisation dépend de 4 facteurs :

- la capacité de la batterie,
- la fréquence de charge,

⁴⁰ <https://www.informatiquenews.fr/lexplosion-des-data-centers-hyperscale-59145>

⁴¹ Source Organisation des industries électriques : https://observatoire-electricite.fr/IMG/pdf/pedago_data.pdf

⁴² Source : étude Nexity Conseil & Transaction : <https://ct.nexity.fr/news/articles/le-marche-des-data-centers>, 2015

- le rendement de la chaîne de charge,
- le recours à des batteries externes.

L'observation des caractéristiques des smartphones sur un échantillon d'une cinquantaine, dont les 10 smartphones les plus vendus en 2017, montre :

- une croissance de la capacité de la batterie lorsque la taille de l'écran augmente,
- une tension d'alimentation de la batterie peu variable (entre 3,7V et 3,85V), avec une fourchette 3,8 – 3,82 V pour les smartphones les plus vendus,
- une assez forte disparité de capacité de la batterie associée à une autonomie en conséquence⁴³, la plupart des modèles essayant de tenir une autonomie entre 12 et 14h, soit 1,5 jour d'utilisation,
- la rareté des données sur le rendement réel des alimentations normalisées USB⁴⁴, conduisant à retenir le minimum demandé par les standards.

La mission propose de retenir 62,7% comme rendement de la chaîne d'alimentation : 0,73 (rendement du chargeur 220 V ➡ 5 V => 5 V => 0,95 (rendement des convertisseurs DC-DC x 3,8/4,2 (ratio des tensions de charge et de sortie batterie). Les pertes du réseau d'acheminement – distribution sont estimées entre 7 et 8%.

Compte tenu de la diversité des utilisations, il est retenu une charge tous les 1,5 jours, soit 240 charges par an. L'usage de batteries externes n'a pas été pris en compte. A noter : compte tenu de la dispersion des usages, une augmentation du nombre annuel de recharge se traduit par un recours plus intense à des batteries externes, du fait que le nombre d'utilisateurs rechargeant plus d'une fois par jour, et donc susceptibles d'utiliser une batterie externe, augmente.

La charge moyenne de la batterie est estimée à 8,5 Wh en 2018 contre 6,5 Wh en 2013 et 7,4 Wh en 2014. Pour charger une batterie, l'énergie tirée en sortie de centrale électrique est évaluée en tenant compte du rendement du chargeur, de la perte induite par la différence de tension entre celle fournie par le chargeur et celle fournie par la batterie et des pertes dans les réseaux de transport (RTE⁴⁵) et de distribution (Enedis⁴⁶).

	2013	2014	2017	2018 (e)
Charge batterie (Wh)	6,5	7,4	8,6	9
Energie tirée/charge (Wh)	11,3	12,8	14,9	15,6
Consommation annuelle (GWh)	121	168	247	243
Emissions de CO ₂ annuelles (t CO ₂) ⁴⁷	7 420	7 490	13 800	10 570 t

Consommation d'utilisation des smartphones (calculs mission)

⁴³ Au sein d'une même marque, la capacité croît avec la surface de l'écran. D'une marque à l'autre et pour une même taille d'écran, on peut noter une dispersion de +/- 10% de la charge consommée pour une même durée d'utilisation.

⁴⁴ Rendement de 73% pour un chargeur Apple.

⁴⁵ La perte RTE est calculée à partir des bilans électriques publiés par la formule : production nette – consommation brute (non corrigée des aléas météorologiques) – solde des exportations / importations. Le rendement ainsi calculé est de l'ordre de 98%.

⁴⁶ Le rendement du réseau de distribution (93,8 à 94%) est tiré d'une publication « connaissance des énergies » <https://www.connaissancedesenergies.org/electricite-a-combien-s-elevent-les-pertes-en-ligne-en-france-140520>

⁴⁷ Valeurs RTE ne comprenant pas les achats transfrontaliers d'électricité

2.4.2 Téléviseurs

La consommation d'un téléviseur est évaluée par RTE à 260 kWh pour un poste 42 pouces pour 2016⁴⁸. Cette donnée conduit à une consommation du parc de téléviseurs à 11,8 TWh. Les données RTE ne permettent pas de dire si l'éventuel décodeur MPEG -2 ou MPEG 4 est inclus dans cette consommation.

	2013	2014	2015	2016	2017
kWh/an	295	285	270	260	200
Source	Bilan électrique 2016	Bilan électrique 2016	Bilan électrique 2016		Bilan électrique 2018

Consommation TV poste principal résidentiel (source RTE)

D'autres sources affichent des consommations en fonctionnement et en veille sans pour autant donner les caractéristiques des téléviseurs moyens⁴⁹. La technique Led, actuellement la plus utilisée, est la moins énergivore, les meilleurs modèles étant en dessous des téléviseurs à tube cathodique.

Technologie	LED	LCD	Plasma	Cathodique
En fonctionnement (4h/j)	1 à 3	2 à 4	5,3	1,4
En veille (réf. 1 => ≈0,5W)	1	6	20	ND

Consommation relative des téléviseurs selon la technologie (sources diverses)

Nota : la référence est un téléviseur LED efficace (vers 2016). Certains téléviseurs LED ont une consommation triple.

La dispersion de consommation est pour une même technologie très grande, car dépendant de la taille de l'écran, de la fréquence de rafraîchissement et l'équipement audio. Ainsi, en consommation normalisée, un téléviseur 8K consomme près du double du modèle équivalent 4K⁵⁰ (même taille d'écran, même puissance audio). Le réglage de la luminosité joue aussi dans un rapport d'environ 2 entre minimum et maximum.

Le livre blanc de l'Ademe de 2015 (sic) indique une fourchette très large de la consommation annuelle d'un téléviseur en entreprise (de 120 à 1470 kWh), reflétant ainsi la diversité des usages (de l'usage ponctuel du téléviseur à une utilisation quasi permanente). Ce livre blanc indique une utilisation limitée en entreprises sur l'échantillon, ce qui exclut la fourchette haute de la consommation mesurée (1000 – 1470 kWh) pour la moyenne.

Le baromètre du numérique donne comme explication aux tendances baissières à la consommation la réduction du nombre de téléviseurs par foyer et le transfert du temps d'écran de la télévision (TNT) vers d'autres supports (vidéo en streaming via smartphones). Par ailleurs, il existe deux tendances haussières : l'équipement des foyers en téléviseur haute définition et grand écran (4k, 8k ?) avec visionnage de contenus 4K, et l'accroissement de la finesse et de la fréquence de rafraîchissement des écrans.

Les hypothèses prises sont :

⁴⁸ Le bilan électrique 2018 de RTE indique comme consommation annuelle du poste principal 200 kWh en 2017, avec une limite basse (meilleure technologie) à 70 kWh.

⁴⁹ <https://total.direct-energie.com/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/economie-d-energie/quelle-est-la-consommation-d-une-tv-en-veille>

⁵⁰ Téléviseur 75' : modèle Full HD : 269 kWh/an, modèle 4K : 453 kWh/an (printemps 2019)

Téléviseur principal résidentiel et professionnel : consommation RTE, sauf pour 2017 où la chute à 200 kWh/an ne s'explique pas. La mission retient un chiffre à 250 kWh/an plus proche de l'évolution des précédentes estimations de RTE.

Téléviseur résidentiel (au-delà du téléviseur principal) : consommation moitié de celle du téléviseur principal (moindre usage essentiellement). Cette hypothèse atteint une limite en fin de période.

	Unité	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Conso TV principal	kWh/an	295	285	270	260	250	240
Parc résidentiel	M	48,9	47,8	46,4	45,6	44,2	42,2
Conso résidentiel	GWh	11 335	10 777	9 980	9 493	8 979	8 383 ¹
Parc professionnel	M	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Conso professionnels	GWh	177	171	162	156	120	144

Consommation des parcs de téléviseurs résidentiels et professionnels

¹ Pour 2018 : 8 383 = 42,2 x 65% x 240kWh (poste principal) + 42,2 x 35% x 120 kWh (poste secondaire)

En conséquence, la consommation annuelle retenue (en hypothèse basse) est de 8,4 TWh pour 2018, (0,1 pour des entreprises et 8,3 TWh pour le résidentiel).

En hypothèse haute, l'écart reposant sur des téléviseurs secondaires, la consommation annuelle serait de l'ordre de 8,7 TWh (0,1 entreprises et 8,6 résidentiel).

2.4.3 Ordinateurs

Divers acteurs présentent des consommations annuelles pour les ordinateurs.

Source	2015	Projection 2035
ADEME ⁵¹	Pro : 151 kWh (fixe avec écran), 48 kWh (portable), 65 kWh (client léger avec écran)	
RTE (avec écran)	Rés fixe : 250 kWh en 2015, portable : 50 kWh Rés. 130 kWh en 2016	50 kWh en 2035

Consommation des ordinateurs (marché domestique)

La mission a de son côté réalisé une estimation de la consommation des ordinateurs à partir de sondages concernant les consommations unitaires d'un panel de matériels de marque HP, Lenovo, Dell et Asus et Acer, qui assurent près de 80% du marché français.

⁵¹ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/livre-blanc-consommation-energetique-equipements-informatique-2015.pdf>

Marché des PC en France au 4^{ème} trimestre 2018 (milliers d'unités livrées), et parts de marché

Constructeurs	2018 Unités Vendues	2018 Part de Marché (%)	2017 Unités Vendues	2017 Part de Marché (%)	2018-2017 Croissance (%)
HP Inc.	523.9	23.0	704.6	27.3	-25.6
Lenovo	506.7	22.3	480.2	18.6	5.5
Dell	313.6	13.8	304.9	11.8	2.9
Asus	257.8	11.3	396.6	15.4	-35.0
Acer Group	208.3	9.2	229.2	8.9	-9.1
Autres	463.0	20.4	462.9	18.0	0.0
Total	2,273.2	100.0	2,578.3	100.0	-11.8

Note: Les données incluent les postes de travail fixes, les PC portables et les ultramobiles premiums.

Marché des PC en France au 4^{ème} trimestre 2018 et 2017 (d'après Gartner)

La méthode consiste en d'une part évaluer la consommation des PC portables (ultraportables inclus) et d'autre part des PC fixes, avec distinction entre résidentiels et professionnels.

La consommation du parc de PC a été estimée par la mission à partir d'un échantillonnage de modèles de PC, dont la ventilation par marque reproduit les parts de marché des principaux fournisseurs. Les portables entre 13,3' et 17,3' ont été pris en compte.

Pour les ordinateurs fixes, un échantillon a été réalisé incluant quelques modèles « gaming » de façon à tenir compte de l'influence de cette activité qui, selon les analystes, sous-tend une certaine dynamique dans un marché globalement en décroissance.

Les hypothèses prises intègrent un écran pour chaque PC fixe, pour 50% des PC portables professionnels et 30% des PC portables résidentiels. Les écrans sont considérés comme étant tous à LED ou LCD (pas d'écrans à tubes cathodiques, ni écrans plasma). La taille des écrans résidentiels est prise comme étant plus grande (majorité de 24 et de 27') par rapport aux écrans professionnels (majorité de 19 à 22').

Le rendement des alimentations est estimé à 73% et la perte de conversion de tension à 0,814⁵²

Conso 2018 par type d'appareil	Portable résidentiel	Fixe résidentiel	Portable pro	Fixe pro
Conso. Unitaire	74 Wh/charge	137 W (av. écran)	74 Wh/charge	127 W (av. écran)
Consommation moyenne	23 kWh / PC et 34 kWh/écran	141	34 kWh/PC et 46 kWh/écran	149
Consommation totale (TWh)	0,91 ⁵³	1,84	0,58 ⁵⁴	2,42
Total (TWh)	2,75 (prod nette)		3,0 (prod nette)	

Estimation de la consommation 2018 des micro-ordinateurs (PC fixes, portables et ultraportables, y compris leurs écrans) en France en production nette – hypothèse de base.

En hypothèse d'équipement des ménages haute, c'est-à-dire alignée sur 1,5 PC par ménage (source CSA), la consommation résidentielle 2018 serait de l'ordre de 2,8 TWh.

⁵² Rapport de tension entre une alimentation à 4,2V et une tension de cellule de 3,7V et intégration du rendement du circuit intégré de charge batterie (rendement de l'ordre de 95%).

⁵³ Calcul : parc PC x (consommation moyenne PC + 0,3 x conso moyenne écran)

⁵⁴ Calcul : parc PC x (consommation moyenne PC + 0,5 x conso moyenne écran)

Discussion sur les calculs : concernant les micro-ordinateurs résidentiels, la mission trouve dans son modèle une consommation moyenne de 90 kWh/an en 2015 et 81 kWh en 2016. RTE estime cette consommation à 130 kWh. La mission ne prend en compte ni baffles, ni station d'accueil. Une variation de + 10 points du taux d'ordinateurs portables résidentiels équipés d'un écran fixe modifie de + 76 GWh la consommation annuelle résidentielle. Le passage de 1 à 1,2 écran par PC fixe professionnel augmente de 155 GWh la consommation des PC professionnels.

Source	2015 (sauf indication contraire)
ADEME ⁵⁵	Pro : 151 kWh (fixe avec écran), 48 kWh ^a (portable), 65 kWh (client léger avec écran)
RTE (avec écran)	Rés. 130 kWh en 2016
Mission (avec écran)	Rés. Fixe : 196 kWh en 2015, portable : 47 kWh Pro. Fixe : 165 kWh, port : 83 kWh ^b

Comparaison de la consommation annuelle des micro-ordinateurs

Nota ^a : consommation vue de l'entreprise, ^b : consommation globale (entreprise et hors entreprise)

La mission sous-estime la consommation résidentielle et surestime la consommation professionnelle.

Année 2015	Résidentiel RTE	Résidentiel Mission	Prof. mission
Consommation annuelle (TWh)	5,28	3,66 à 3,9	3,72

Comparaison des estimations des micro-ordinateurs entre mission et RTE

On retient pour le résidentiel une fourchette basse de 3,66 TWh et une fourchette haute de 3,9 TWh, l'écart venant d'une incertitude de 3 millions d'ordinateurs sur le parc (cf 2.3.3).

2.4.4 Tablettes

La consommation des tablettes est estimée à partir des caractéristiques d'un échantillon de modèles des principaux fabricants (Apple, Google, Huawei, Microsoft et Samsung) répartis entre 2013 et 2018. Les autonomies sont tirées des tests publiés par « lesnumeriques.com », permettant de disposer de résultats indépendants des fabricants.

De cet échantillon est tiré la charge moyenne et l'autonomie moyenne des tablettes, en mettant Microsoft à part⁵⁶. Les parts de marché sont données par la part de marché des systèmes d'exploitation, soit : IOS pour Apple, Windows pour Microsoft et Android pour les autres fabricants.

La consommation est calculée pour une utilisation peu intensive⁵⁷ 12 h par jour, 300 jours par an et 6 h/jour le reste de l'année, ce qui correspond à 330 charges pour une tablette Android ou IOS et entre 600 (en 2015) et 750 (en 2018) charges pour les tablettes Microsoft⁵⁸.

La consommation 2015 est évaluée à 328 GWh et celle de 2018 à 394 GWh production électrique nette.

⁵⁵ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/livre-blanc-consommation-energetique-equipements-informatique-2015.pdf>

⁵⁶ Les tablettes Microsoft Surface pro se distinguent par une batterie à 7,5 V et un chargeur 12V =, les autres ayant des batteries de 3,7-3,8V et un chargeur de type USB 5V=.

⁵⁷ Usage bureautique sans jeux ou traitements vidéos.

⁵⁸ Le modèle 2016 de la Microsoft Surface Pro a une autonomie bien plus faible que les autres modèles.

2.4.5 Imprimantes

➤ Secteur résidentiel :

La mission a évalué la consommation électrique des imprimantes personnelles à partir du site belge energieplus⁵⁹ avec les hypothèses suivantes :

Modèles prépondérants : multifonctions à jet d'encre, 40% des possesseurs la laissent sous tension en permanence, les autres ne la mettent sous tension qu'une heure par jour.

Consommation unitaire : de l'ordre de 19 kWh/an⁶⁰ (abonné).

Consommation principale : en veille.

Pour un parc de 13,9 M, la consommation annuelle est de 282 GWh (production nette) stable.

➤ Secteur professionnel :

La consommation des imprimantes d'entreprise est estimée à partir du parc et de la consommation annuelle du libre blanc Ademe-GreenIT de 2015.

Les consommations unitaires prises sont de 441 kWh/an pour les copieurs et imprimantes grand format et de 71 kWh/an pour les imprimantes multifonction personnelles d'entreprise.

Sur la période 2015-2018, la consommation des imprimantes professionnelles serait de l'ordre de 1 TWh (production nette), en baisse de 0,5%/an. Les émissions de CO₂ associées sont de l'ordre de 50 000 tCO₂.

2.4.6 Box

Les box, étant considérées comme des éléments de réseaux de télécommunication, sont couverts par les directives européennes ExP (Energy-x-Product) : 2005/32/CE (Energy-using products), puis 2009/125/CE⁶¹ (Energy-related Products), le point principal est la prise en compte de considérant (16) relatif à la consommation en mode veille ou arrêt. Le mode veille des équipements fait l'objet de règlements européens (règlement 1275/2008 modifié par le règlement 801/2013). Ils prévoient explicitement les modes veilles avec maintien de connexion au réseau.

Cependant, certains opérateurs installent dans un même appareil l'équipement terminal de transmission de données et des fonctions qui ne relèvent pas du réseau de télécommunications (décodeur TV, lecteur de disque ou prise USB, espace de stockage, etc.). Ces dernières fonctions sont alors soumises à la directive.

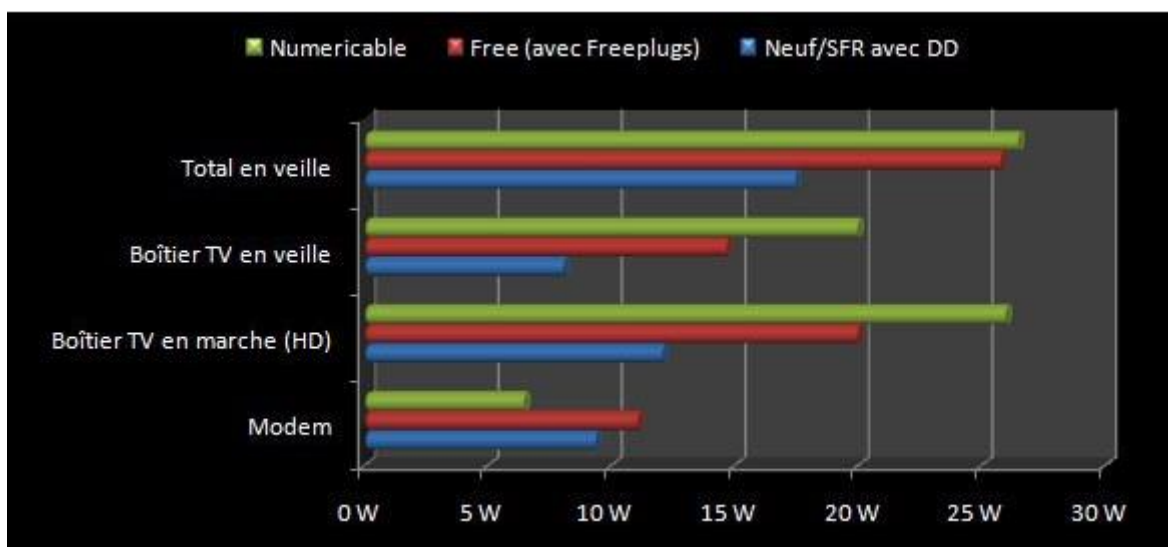
Les Box ont fortement évolué dans les 10 dernières années, avec une baisse sensible de consommation, essentiellement en veille. Ainsi en 2010, le mode veille des modèles diffusés consommait entre 17 et 26 W. Ces modèles étaient antérieurs au règlement européen de 2008 susmentionné.

⁵⁹<https://energieplus-lesite.be/evaluer/bureautique2/Evaluer-la-consommation-des-equipements/evaluer-la-consommation-des-imprimantes/>

⁶⁰ Les consommations unitaires pour les imprimantes grand public ont été approchées à partir d'une hypothèse d'utilisation d'une heure par jour, 1000 impressions par an, 5W en veille et 25W en impression, 60% des imprimantes étant de plus éteintes en dehors de la période d'utilisation, 40% en veille profonde. La consommation moyenne annuelle unitaire calculée est de l'ordre de 19 kWh.

⁶¹ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:fr:PDF>

Cependant, les opérateurs communiquent peu les consommations des équipements qu'ils fournissent⁶² et que le consommateur doit utiliser pour avoir le service (cf. comparatif 2019 de box internet publié par socialcompare⁶³ qui ne donne des données de consommation que pour 5 modèles sur les 12 cités dont seulement une indication de consommation maximale pour l'un de ces modèles). Ils communiquent parfois sur la consommation lors de la sortie d'un nouveau modèle. Par contre, ils communiquent parfois sur les gains de consommation en % par rapport à un modèle précédent.



Consommation de modèles de box couramment diffusées en 2009-2010 Source Les numériques⁶⁴

Calcul de la consommation électrique de la box ADSL

	Consommation moyenne (wH)	Consommation par mois (kWh)	Consommation par an (kWh)
FreeBox V5 + Décodeur	27	19,4	236,5
FreeBox V6 + Décodeur	35	25,2	306,6
NeufBox 6 (Evolution) + Décodeur	20	14,4	175,2
LiveBox 2 + Décodeur	16	11,5	140,2

Quelques consommations de box (2010)

Source site calcul consommation électrique 2010⁶⁵

⁶² La mission n'a trouvé qu'une référence dans les rapports RSE ou développement durable des opérateurs : Consommation du modèle LaBox de SFR lancée en 2012 : division par 3 (de 30,2W à 11,6W et une consommation annoncée à 268,8 kWh, §3.2.2.3.2.3 «La consommation d'énergie ... », <http://alticefrance.com/sites/default/files/pdf/Rapport-RSE-SFR-2017.pdf>

⁶³ <http://socialcompare.com/fr/comparison/freebox-revolution-sfr-neufbox-evolution-bbox-sensation-numericable>

⁶⁴ <https://www.lesnumeriques.com/prix-consommation-electrique-a704/la-consommation-des-box-internet-ap549.html>

⁶⁵ http://www.calculconsommationelectrique.com/consommation_box_adsl.php

RTE estime la consommation annuelle d'une box à 180 kWh par an en 2016, soit sensiblement moins que les box de l'opérateur qui a bien voulu publier des chiffres. Ainsi, pour 2016, la consommation totale des box s'établit à 4,9TWh d'énergie produite nette (180 kWh x 27,2 M).

Une approche fondée sur les consommations publiées par la presse⁶⁶, une utilisation des box à hauteur de 9,1h par jour⁶⁷ et une présence au domicile de 85% du temps conduit à une consommation annuelle de 134 kWh compteur par box et par an, soit 3,9 TWh d'énergie produite nette. Cette évaluation intègre la consommation du boîtier de conversion optique-électrique des réseaux FttH. En ajoutant le décodeur TV associé à la box et en appliquant une utilisation quotidienne tirée des observations du baromètre du numérique, on trouve 176 kWh. Ce chiffre est à rapprocher des 268 kWh cités par SFR ou des 167 kWh calculés pour la Livebox à partir de la communication d'Orange sur sa remplaçante, la Livebox 2.

En retenant les hypothèses de pratiques suivantes : pour l'ensemble des utilisateurs, la box est coupée (appui sur le bouton marche-arrêt) 20% du temps⁶⁸, typiquement lorsqu'ils s'absentent de leur domicile ou résidence secondaire pour une longue période. 90% des utilisateurs n'arrêtent pas leur box dans la semaine (la box reste en veille) et 10% débranchent électriquement.

Box	Consommation annuelle 2015	Consommation annuelle 2018	Consommation du parc 2015 (TWh)	Consommation du parc 2018 (TWh)
RTE	180 kWh/box		4,9	
Mission	176 kWh/box compteur	162 kWh/box	5,1 (prod nette)	5 (prod nette)

L'essentiel de la baisse de la consommation unitaire provient du remplacement des box anciennes de SFR par sa box « LaBox ». Il est à noter que l'existence d'un mode veille profonde réduit de 30 à 40% la consommation annuelle. La projection 2018 intègre un remplacement à 30% des anciennes box de SFR, une diminution des autres box anciennes des autres opérateurs et prend en compte les évolutions d'usage et de déploiement du HD/THD en France. Une baisse de 50% de la consommation en veille réduirait d'environ 0,9 TWh la consommation du parc. Un passage en mode veille profonde plus efficace, par exemple, en tenant compte des habitudes d'utilisation des ménages, permettrait de gagner environ 0,5 TWh. La combinaison des deux conduirait à une baisse de l'ordre de 1,1 TWh. Les émissions de CO₂ générées par l'utilisation des box sont de l'ordre de 300 kt éqCO₂.

2.4.7 Réseaux

La mission n'a pas évalué de façon séparée la consommation des éléments de réseau autres que les routeurs des réseaux locaux et les box exclues.

⁶⁶ <https://www.echosdunet.net/dossiers/facture-denergie-peut-on-reduire-consommation-electrique-sa-box-internet>

⁶⁷ Évaluation intégrant 3,5 h par jour sur Internet par personne adulte (cf. étude eMarketer) et une partie des 3,8h par jour de télévision pour les box raccordées à du haut ou du très haut débit et 0,2 h de téléphone (appels émis et reçus) pour 2018.

⁶⁸ A noter, certaines box ne disposent pas de bouton « marche arrêt (Ex. Freebox Revolution et son décodeur TV).

2.4.7.1 Consommation des réseaux d'opérateurs de communication électronique

La consommation des réseaux est déduite des bilans développement durable ou responsabilité sociale des entreprises des 4 principaux opérateurs de télécommunications. Les éléments présentés sont hétérogènes, conduisant à ne pas pouvoir finement analyser la consommation. Chaque opérateur ayant fait ses propres choix architecturaux, la comparaison d'un opérateur à l'autre est difficile. De plus, la dissociation entre commercialisation et infrastructure (dégrouper partiel ou total en cuivre ou droits d'usage en fibre optique) complique l'analyse.

En 2018, avec un peu plus d'1 million de locaux raccordables, les réseaux d'initiative publique ajoutent une consommation qui n'a pas été appréhendée.

	Bouygues T	Free	Orange	SFR-Altice
2015	Consommation totale réseau / data centers/ tertiaire en GWh sans détail	Consommation du réseau avec ventilation par technique (ADSL, FttH, mobile, cœur de réseau) et GWh	Consommation par scope (tertiaire, réseau, déplacements) et GWh et téqCO ₂	Consommation totale réseau / data centers/ tertiaire en GWh sans détail
2018	Idem 2015	Idem 2015	Idem 2015	Pour 2017 : idem 2015
Commentaires	Emissions GES en téqCO ₂ (électricité, fuel, etc.) est donnée pour le réseau.	Emissions GES en téqCO ₂ avec ventilation par destination et scope	Ventilation fixe/mobile dans présentation ARCEP	

Contenu énergétique des rapports RSE des entreprises

2015	Bouygues T	Free (1)	Orange	SFR (2)	Total
GWh électrique réseau	440	244	2 102	594	3 380
GWh électrique DC	55	57	231	85	428
GWh électrique reste	24	17	160	40	241
GWh électriques toutes activités	519	318	2 493	719	4 049
kt eqCO ₂ 2015 scope 2	48 000	19 104	172 027	59 128	298 259
kt eqCO ₂ 2015 Réseau (scope Sx)		14 560 (S2) 16 535(S1à3)			
kt eqCO ₂ 2015 DC		3 510 (S2) 3 601(S1à3)			

2018	Bouygues T	Free	Orange	SFR-Altice	
GWh réseau	483	491	1844	748	3566
GWh Data center	NC	55	200 (e)	NC	NS
GWh électrique total	555	571	2 190	860	4 176
kt eqCO ₂ 2018 (3)	42 000	27 500	100 732	63 612	233 844
kt eqCO ₂ 2018 (4)	94 000		260 261	89 217	NS

Consommation des réseaux de télécommunications en utilisation (source mission d'après bilans RSE des opérateurs). En italique, les ventilations estimées par la mission

(1) : Calculs missions à partir des données et répartitions publiées

(2) : Couverture du système de maîtrise de l'énergie de SFR, application des ratio 2018 à 2015.

(3) : Consommation des réseaux et DC (scope⁶⁹ 2)

(4) : Scopes 1 à 3, avec uniquement en scope 3 les déplacements des personnels.

Seul Bouygues Telecom intègre le CO₂ émis pour la fabrication des équipements dans ces restitutions, conduisant à un ensemble des 3 scopes complets (fabrication des équipements, achats de services, transports des matériels, etc.) à 769 000 t de CO₂. Pour un opérateur télécom, les émissions liées à l'exploitation et à la seule maintenance des réseaux et DC ne reflète que très partiellement son empreinte carbone.

Il est à noter que ces consommations comportent des data center. Seul Free communique des données dans le cadre de ses bilans RSE. Orange a indiqué qu'actuellement, la consommation des DC représente 10% de sa consommation d'électricité hors locaux non télécoms (bureaux, ...), soit 200 GWh.

Le ratio entre consommation DC et consommation électrique totale est de l'ordre de $(255/2761) = 9\%$.

A la consommation des opérateurs de communications électroniques, il convient de tenir compte de l'activité de TdF. Ce groupe dispose de près de 18 000 points hauts où il héberge sur la plupart d'entre eux des stations d'opérateurs de communications électroniques, notamment de SFR.

La consommation 2018 d'électricité de TdF est de 412 GWh⁷⁰ dont 30% pour la diffusion TNT et radio. L'évaluation de la consommation compteur de la partie réseau télécom est de l'ordre de 195 GWh en 2015 et 255 GWh en 2018. La part DC de la consommation électrique de TdF est de l'ordre de 10 GWh.

Pour 2018, la mission estime la consommation des DC des opérateurs télécoms (TdF compris) à 385 GWh et la consommation réseau de ces opérateurs à 3 822 GWh (3566 + 255 pour TdF) en énergie compteur d'abonné, et **4 154 GWh** en production électrique nette.

Pour 2015, la mission estime la consommation des DC des opérateurs télécoms à 434 GWh et leur consommation réseau à 3 575 GWh (3380 + 195 pour TdF) compteur abonné ou **3 866 GWh** production électrique nette.

2.4.7.2 Estimation de la consommation réseau locaux (LAN) des entreprises hors DC et opérateurs.

L'estimation est réalisée à partir d'un ratio consommation électrique annuelle de équipements réseau rapporté au poste de travail multiplié par nombre de postes de travail en entreprise.

Le parc de postes de travail 2015 est évalué à 25,3 M, soit 25,1 M hors opérateurs télécoms.

Le parc de postes de travail 2018 est évalué à 24,2 M soit 24 M hors opérateurs télécoms.

Le livre blanc Adème-GreenIT donne un ratio de 10,5⁷¹ équipements de réseau pour 100 postes de travail. L'échantillon de l'étude ne comporte aucun fournisseur de services en nuage (Cloud) ou d'hébergement de data center, aussi, le parc d'éléments de réseau peut être considéré comme représentatif de l'équipement des entreprises (administrations comprises) hors data center. Ce sont essentiellement des routeurs (switchs).

⁶⁹ Définition des scopes : Scope 1 : autres énergies dont produits pétroliers consommées directement

Scope 2 : électricité consommée directement, valeurs RTE du §2.2.5

Scope 3 : énergie consommées à travers les achats de biens et services (hors achats directs d'énergie), valeurs RTE du §2.2.5

⁷⁰ Source TdF, consommation 2016 : 365 GWh, 2017 : 386 GWh. La croissance est essentiellement due aux émetteurs de télécommunications.

⁷¹ 7400/71300

Ce livre blanc souligne que les éléments de réseau ont une consommation très peu modulée en fonction de la charge, ce qui conduit au poids prépondérant de l'architecture sur les usages. De plus, dans les grandes entreprises, une partie des équipements sont alimentés en courant ondulé, ce qui induit des pertes dans la chaîne d'alimentation. La perte varie selon la charge de la chaîne d'alimentation électrique (rendement de l'ordre de 90% à 80% de charge, 50% à faible charge).

Le parc d'éléments de réseau (hors DC et routeurs embarqués) serait de l'ordre de 2,6 M en 2015 et de 2,5 en 2018 pour les mini-switches de bureau. Une consommation annuelle unitaire estimée à 220 kWh (entre 20 et 33 kWh par poste raccordé) pour un routeur simple et à 880 kWh pour un commutateur de 1^{er} niveau ou 1400 kWh pour un équipement de niveau supérieur, conduit à une consommation globale de l'ordre de 873 GWh en 2015 et 843 GWh en 2018.

Sensibilité aux hypothèses :

Un remplissage plus important des commutateurs (1 pour 20 routeurs) conduirait à une baisse de 80 GWh de la consommation annuelle mais cette hypothèse limite l'architecture à des sites de 200 postes de travail..

La consommation des réseaux d'entreprise hors LAN et data center⁷² n'a pas été évaluée, faute de données.

2.4.7.3 Estimation de la consommation des opérateurs de réseaux spécialisés

Enfin, il existe, fin 2018, 24 975 réseaux radio privés⁷³ et le réseau de diffusion hertzienne de TdF à 8617 points de service⁷⁴. La consommation électrique de TdF sur ses activités de diffusion est de l'ordre de 125 GWh, répartie entre TNT, radio analogique et radio numérique. La consommation électrique de l'ensemble de ces réseaux est prise comme étant équivalente aux deux tiers de celle d'un opérateur mobile, soit de l'ordre de 100 GWh. Elle est considérée stable sur la période 2015-2018⁷⁵.

Le passage à la TNT en début des années 2010 a fortement fait baisser la consommation réseau associée à la télévision diffusée par voie hertzienne. Ainsi, en moyenne, l'émetteur analogique de 25 kW par canal a été remplacé par un émetteur numérique de 5 kW par multiplex de 5 ou 6 chaînes⁷⁶. L'exigence de couverture de la population ayant été réduite, le nombre de points d'émission est passé de 3500 à 1625. Même si le rendement des émetteurs numériques est très inférieur à celui des émetteurs analogiques⁷⁷, l'effet conjugué de la puissance RF des émetteurs et de leur nombre. La mission estime entre 30 ou 50 GWh la consommation de la TNT.

Le chiffre 2015 de 4,8 TWh (3,85 réseaux publics + 0,873 LAN + 100 Réseaux privés radio) est sensiblement supérieur à celui de Négawatt (3,5 TWh également hors opérateurs de DC).

⁷² La consommation des réseaux intra data center est intégrée aux data centers.

⁷³ <https://www.anfr.fr/licences-et-autorisations/reseaux-professionnels/les-reseaux-mobiles-professionnels-pmr/definition-et-contexte/>

⁷⁴ Stations supportant des émetteurs de la TNT ou abritant des émetteurs d'autres réseaux.

⁷⁵ Fin 2015 : plus de 26 000 réseaux professionnels, fin 2016 : 25 429 réseaux indépendants (source ANFR), soit une baisse de 4% entre 2015 et 2018.

⁷⁶ Le réseau analogique de 6 chaînes a été remplacé par un réseau de 6 multiplex numériques : <https://www.tdf.fr/nos-activites/t%C3%A9l%C3%A9vision>

⁷⁷ Exemples de rendement (puissance RF / puissance appelée au tableau électrique), émetteurs FM : 65 à 70%, émetteurs TNT de 2011 : 22%, de 2019 : 35%.

2.4.8 Serveurs et data center

- Estimation de la consommation des serveurs (hors HPC, High Performance Computers)

Le parc de serveurs en France, hors data center n'est pas publié, aussi les estimations exposées au 2.3.8 sont reprises.

Le livre blanc Adème de 2015 indique une puissance moyenne absorbée par serveur de 170 W, soit une consommation annuelle de 1 500 kWh.

La mission a estimé la consommation des serveurs d'entreprises hors data center avec les hypothèses suivantes :

Puissance moyenne d'un serveur non virtualisé : 170 W. Puissance moyenne d'un serveur virtualisé hors DC : 290W, stable.

Taux de virtualisation des serveurs, correspondant à de petites salles informatiques non considérées comme des DC : 20% en 2015, 30% en 2018.

Ces serveurs sont dans des locaux non climatisés, mais disposant d'une alimentation ondulée.

Avec un parc de serveurs, hors grands data center de l'ordre de 2 M, (resp. 1,9 M en 2015), la consommation des serveurs d'entreprise serait de l'ordre de 4 320 GWh en 2018 (resp. 3 840 GWh en 2015..

- Estimation de la consommation des data centers

La mission avait prévu d'estimer la consommation des DC par :

- La consommation des DC des opérateurs de télécommunications,
- La consommation de quelques opérateurs du Cloud (OVH) et hébergeurs (ATOS, etc.),
- Une extrapolation à partir de l'inventaire de France Data center.

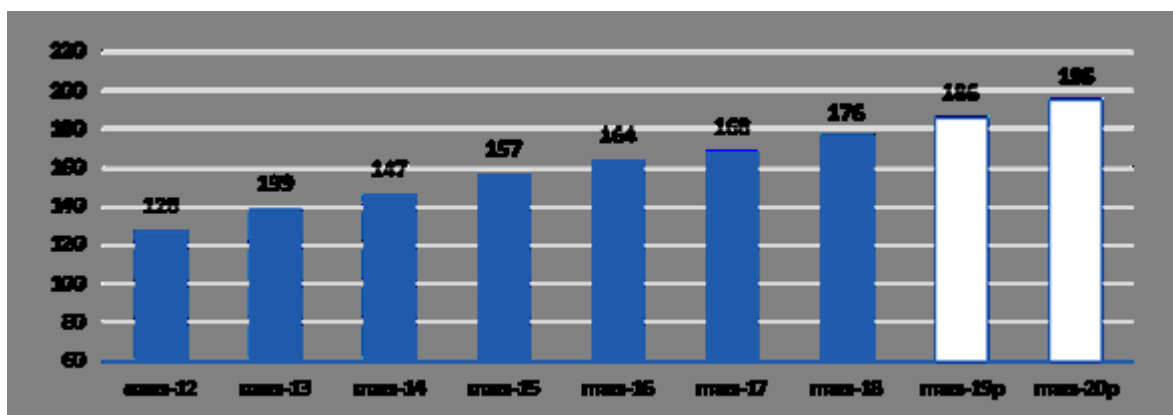
La consommation des DC des opérateurs de télécommunications a été évaluée à partir du rapport annuel – performance extra-financière de deux opérateurs Iliad/Free et Orange et extrapolée aux deux autres. Elle est évaluée à 375 GWh (abonné) ou près de 400 GWh (production nette) en 2018.

La mission n'a pas pu calculer la consommation des DC des opérateurs de Cloud et des grandes entreprises, faute d'indications précises dans leurs rapports annuels. Elle a réalisé une évaluation à partir de données RTE.

RTE évalue la consommation française des DC en en 2014 à 1,4 TWh⁷⁸ et à près de 3 TWh (0,45 opérateurs + 2,55 autres DC) en 2015.

La mission considère que l'évolution entre 2014 et 2015 provient d'une meilleure appréhension du parc de DC, avec incorporation de DC oubliés en 2014. La progression est moindre, même si elle conjugue le remplissage des DC existants et la création de nouveaux DC (cf. fig ci-dessous).

⁷⁸ Cité par : https://www.efficacity.com/wp-content/uploads/2017/12/170407_Rapport-Datacenter.pdf



Evolution du nombre de data center neutres⁷⁹ en France (source Xerfi)

Pour 2018, la mission estime la consommation des DC en France à environ 3,2 TWh⁸⁰ (dont 0,4 pour les DC des opérateurs télécoms), en supposant une progression de la consommation proportionnelle au nombre de data centers neutres, pondérée par l'évolution du PUE moyen (1,94 en 2015 et 1,84 en 2018).

2.4.9 Autres dispositifs

Les autres dispositifs couvrent de multiples matériels, dont les parcs ne sont pas régulièrement suivis.

Un premier groupe concerne les alternatives au câblage physique des locaux et utilisent ou des répéteurs WiFi, ou des systèmes à courant porteur en ligne (CPL) sur les câbles d'alimentation électrique.

Leur consommation est caractérisée par un profil presque plat entre le mode repos ou veille⁸¹ et le mode transmission de données (cf. annexe 10). Leurs consommations unitaire annuelle est de l'ordre de 30 kWh pour un répéteur WiFi et de 80 kWh pour un couple de répéteur CPL. La consommation d'un dispositif CPL est du même ordre de grandeur que celle d'un PC portable bureautique.

Un parc de 3 millions de répéteurs WiFi consommerait de l'ordre de 100 GWh production nette.

Un parc de 1,2 million de systèmes CPL génèrerait une consommation de l'ordre de 100 GWh.

Le second groupe concerne les dispositifs d'alimentation (adaptateurs secteur, chargeurs) et les alimentations. Eléments obligés de l'utilisation des terminaux, ils ont un poids important dans le bilan du numérique. Les consommations sont intégrées aux différents systèmes alimentés.

Les niveaux d'efficacité (efficiency level n) sont normés en fonction de la puissance de l'alimentation. Les alimentations commercialisées entre 2011 et 2016 doivent atteindre le niveau V, et depuis 2017 le niveau VI. Le rendement minimal augmente légèrement d'un niveau à l'autre et se situe entre 75 et 90%.

Le dernier regroupe tous les autres types de terminaux numériques.

⁷⁹ Data centers ouverts à des externes (hébergement, Cloud)

⁸⁰ Calcul fourchette basse : DC neutres : source Xerfi. DC autres : hypothèse : nombre stationnaire, calcul par différence sur l'année 2016, soit 182-164 = 18. Amélioration du PUE sur la période : 0,1 point, pour arriver à 1,84 (source France Data center) en 2018. Consommation par DC stable, au PUE près. Fourchette haute : augmentation du remplissage de 10 points.

⁸¹ Le mode veille retenu est celui où l'équipement bascule en transmission de données en une fraction de seconde.

Parmi ceux-ci, les écrans de signalisations (information voyageur, affichages commercial ou public), du fait qu'ils soient allumés en permanence, ont un poids unitaire important : consommation annuelle d'un écran publicitaire standard (usage 24/7, intérieur, programmation locale) 43" intérieur de l'ordre de 250-500 kWh, 49" forte luminosité de l'ordre de 500 à 1500 kWh selon luminosité et durée d'utilisation. Ainsi, 70 000 panneaux LED 42"⁸² extérieurs consomment de l'ordre de 100 GWh. Il faut de l'ordre de 110 000 panneaux intérieurs équivalents pour la même consommation⁸³. Par exemple, le réseau de transport francilien (Métro et Francilien) utilise dans ses stations plusieurs milliers d'écrans respectivement 302 et 515 stations.

Les écrans d'information⁸⁴ et/ou de commandes⁸⁵ se diffusent. Ils sont allumés au minimum pendant les heures d'ouverture des enseignes et peuvent disposer d'une unité centrale associée non compté dans les PC ou les serveurs. Compte tenu du nombre de lieux susceptibles d'être équipés⁸⁶ en 2017, du nombre d'écrans par lieu de vente⁸⁷ et de la variabilité des écrans, un nombre d'écrans de l'ordre du million génèrerait une consommation entre 0,6 et 2 TWh.

2.4.10 Le total de la consommation électrique et des émissions de CO₂

Consommation électrique des terminaux

Consommation électrique (TWh)	2015		2018	
	Entreprises	Résidentiel	Entreprises	Résidentiel
Smartphones	0,03	0,15	0,03	0,21
Téléviseurs	0,2	10,0 – 10,3	0,1	8,4 – 8,7
Ordinateurs	4,16	3,69 – 3,9	3,0	2,75 – 2,9
Tablettes	0,08	0,25	0,1	0,3
Imprimantes	1,01	0,28	0,995	0,28
Box	0,9	4,2	0,85	4,18
Autres terminaux	0,7 à 2 ^a	ND	0,7 à 2 ^a	> 0,05 ^b
Sous total terminaux	7,1 – 8,4	18,6 – 19,1	5,8 à 7,1	16,2 – 16,6

^a : Uniquement consommation estimée des écrans d'information (commerce, transport, ...) et panneaux publicitaires (Digital Out of Home).

^b : Consommation estimée des enceintes connectées

Consommation électrique des réseaux, serveurs et data center

Consommation électrique (TWh)	2015	2018
	Entreprises	Entreprises
Réseaux publics (opérateurs télco & TdF)	3,87	4,15

⁸² Composition type du panneau : 1 écran 42", 1 UC spécifique non comptée dans les PC, 1 routeur, 1 alimentation.

⁸³ La consommation d'un écran LED dépend du réglage de sa luminosité.

⁸⁴ Exemples : écrans de présentation de produits dans différents types de magasins (cosmétique, bricolage, vêtements, ...).

⁸⁵ Exemples : écrans de commande dans certaines enseignes de la restauration rapide.

⁸⁶ Dont 32 000 lieux de restauration rapide en 2016, 43 700 enseignes de prêt à porter en 2017, 12 745 grandes surfaces alimentaires et 16 568 grandes surfaces non alimentaires dont 3 153 en habillement (source Rapport provisoire INSEE (juin 2018) « La situation du commerce en 2017 », Direction des statistiques d'entreprises)

⁸⁷ Exemple : entre 10 et 20 écrans pour l'affichage des menus et la prise de commande par borne dans certains lieux de restauration rapide.

Réseaux indépendants et TNT	≈ 0,1	≈ 0,1
Switches LAN	0,87	0,84
Sous-total Réseaux (hors ETDD & box)	4,8	5,1
Data centers opérateurs	0,45	0,4
Autres Data centers	2,55	2,8 - 3,1
HPC (cf §2.3.8 sur le parc serveurs)	0,2	0,2
Autres serveurs	3,84	4,32
Sous total Serveurs et Data centers	≈ 7	7,7 - 8
Total infrastructures (TWh)	11,8	12,8 – 13,1

Synthèse

Consommation électrique (TWh)	2015	2018
Terminaux résidentiels	18,6 – 19,1	16,2 – 16,6
Terminaux entreprises	7,1 – 8,4	5,8 – 7,1
Réseaux	≈ 4,8	≈ 5,1
Serveurs et DC	≈ 7,0	≈ 7,7 - 8
Total	37,5- 39,3	> 34,8 – 36,8

La baisse de la consommation est due d'une part au déport des usages vers le smartphone avec une moindre utilisation de la télévision et d'autre part à l'évolution technologique des ordinateurs et téléviseurs. Ces baisses font plus que compenser la hausse des traitements portée par les data center et les réseaux.

Il est à noter la forte sous-évaluation des équipements professionnels (affichage, informatique embarquée).

2.5 Le cycle de vie des matériels

2.5.1 L'impact énergétique de la phase de production

L'évaluation de l'impact énergétique de la phase de production des équipements utilisés fait partie intégrante de la performance extra-financière des entreprises. Les impacts climatiques font partie du scope 3 du bilan. A cet effet, l'Ademe publie des éléments de référence. Cependant, l'examen des rapports annuels montre que peu publient leurs résultats, la plupart se limitant à l'impact climatique des voyages de leurs collaborateurs pour le scope 3.

Le Shift Project et l'Ademe publient des éléments, qui divergent parfois.

Si les données de ces deux organismes sur les téléviseurs sont compatibles, celles sur les ordinateurs portables (Laptop) et sur les smartphones sont dans un rapport respectif de 1 à 4 et de 1 à 2 entre Ademe⁸⁸ et Shift Project.

Les données du Shift Project sont par ailleurs cohérentes avec l'impact énergétique publié par Apple pour ses smartphones.

⁸⁸

Données

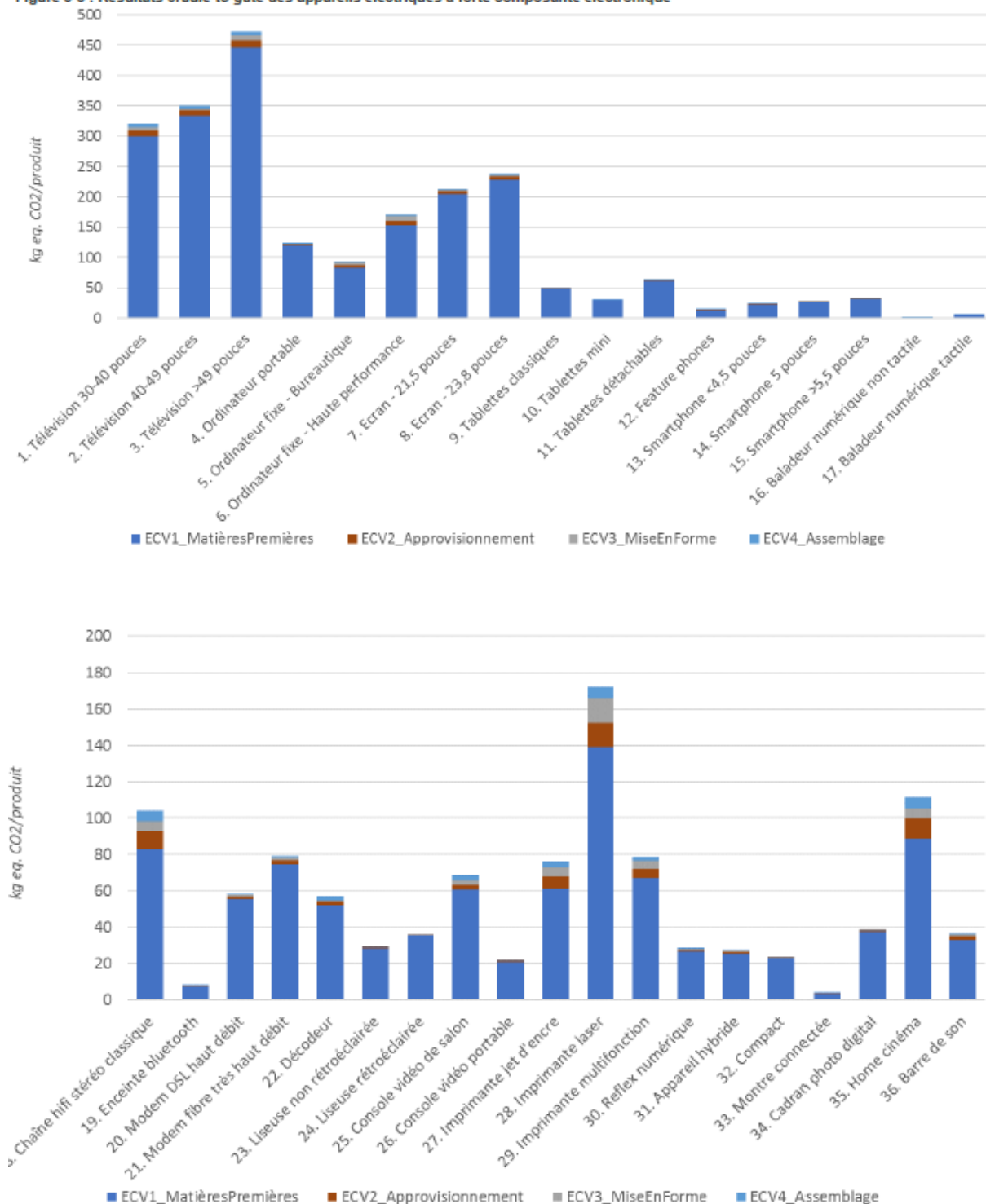
ADEME :

basecarbone

[http://www.basecarbone.fr/static/documents/\[Base%20Carbone\]%20Documentation%20g%C3%A9n%C3%A9rale%20v11.1.pdf](http://www.basecarbone.fr/static/documents/[Base%20Carbone]%20Documentation%20g%C3%A9n%C3%A9rale%20v11.1.pdf)

On notera quelques chiffres de l'Ademe sur l'empreinte production, issus de l'étude ADEME « Modélisation et évaluation du poids carbone de produits de consommations et biens d'équipements » de septembre 2018.

Figure 5-3 : Résultats *cradle-to-gate* des appareils électriques à forte composante électronique



On prendra comme hypothèse moyenne

- Téléviseur : 400 kg CO₂
- Ordinateur portable : 130 kg CO₂
- Ordinateur fixe : 150 kg (PC) + 180 kg (écran) = 330 kg CO₂

- Tablettes : 50 kg CO₂
- Smartphone : 50 kg CO₂
- Chaîne HiFi : 100 kg CO₂
- Imprimante : 100 kg CO₂

Le shift project donne quelques valeurs plutôt cohérentes sur les téléviseurs, mais assez différentes sur les smartphones (61 kg contre 130 kg à l'Ademe) et surtout sur les Laptop (514 kg contre 130 kg à l'Ademe) :

REN - Référentiel Environnemental du Numérique					
Production Phase					
Impacts		Hardwares			
		Laptop	Smartphone	Server (Data centre)	Connected TV
Metals	Primary Energy (MJ)	6 640	717	/	/
	GHG (kgCO ₂ e)	514	61	588	441
	Gallium [Ga] (mg)	8	0,5	/	200
	Indium [In] (mg)	20	7	/	12 000
	Tantalum [Ta] (mg)	500	50	/	/
	Copper [Cu] (mg)	170 000	20 000	/	885 000
	Cobalt [Co] (mg)	12 000	6 000	/	/
	Palladium [Pd] (mg)	1	5	/	/
	Ore Extracted Volume (L)	7	2	/	200

Tableau 6 : Référentiel Environnemental du Numérique (REN), phase de Production
 [Source : "[Lean ICT Materials] REN", onglet "REN Prod Phase". Produit par The Shift Project]

2.5.2 La gestion des déchets numériques

La mission n'a pas abordé cette partie.

3 L'ÉVOLUTION DE L'EMPREINTE ÉNERGÉTIQUE DU NUMÉRIQUE EN FRANCE

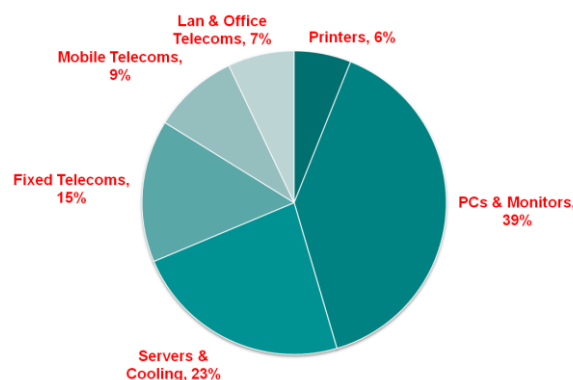
3.1 La croissance passée

3.1.1 Rappel des évaluations du rapport CGTI de 2008

Le rapport s'était concentré sur la consommation d'électricité des TIC en France (et son impact CO₂) et sur l'empreinte carbone liée à l'énergie grise, abordant de manière superficielle la question des déchets. Il ne traite pas les autres éléments de l'ACV (ressources rares, économie de l'eau...).

Les apports potentiels des TIC pour le développement durable sont énumérés, largement en référence à l'étude Smart 2020, mais ne sont pas chiffrés.

Le périmètre est celui utilisé par le SESSI, légèrement supérieur à celui du Gartner (qui ne comprenait pas l'électronique grand public) rappelé ci-dessous



Les sources de l'étude viennent largement de l'Ademe (étude Remodece de 2007, guide des facteurs d'émission de janvier 2008), de l'étude UE DG INF SO (Bio intelligence services- Impact of ICT on Energy efficiency) et de travaux de EDF et du CEREN sur la consommation spécifique des ménages. Ces dernières études avaient d'ailleurs mis en évidence que la consommation d'électricité spécifique des ménages était restée stable entre la période 1995-1999 et 2007, mais avec des disparités très fortes : certains postes comme le froid avaient fortement baissé tandis que l'audiovisuel et l'informatique avaient fortement augmenté, passant de 300 kWh à 900 kWh/an par ménage (sur un total d'un peu moins de 3000 kWh).

Sur la base d'une électricité à 84 g CO₂/kWh, l'étude conduit aux résultats suivants, qui représentent environ 13% de la consommation électrique française et 5% de la production de CO₂ en France de 554 Mt CO₂⁸⁹ :

⁸⁹ Comparaison un peu délicate puisqu'une bonne partie des 30 Mt ne sont en fait pas émises en France puisqu'elles résultent de l'énergie grise utilisée généralement à l'étranger.

	Empreinte production (MtCO ₂ /an)	Empreinte usage MtCO ₂ (TWh)	Total MtCO ₂
Postes travail résidentiels	3,2	0,6 (7 TWh)	3,8
Postes de travaux professionnels	3,2	0,92 (11TWh)	4,12
Serveurs et centres de données	0,26	0,34 (4 TWh)	0,6
Téléviseurs et audiovisuel (compté résidentiel)	6,75	1,38 (16,5 TWh)	8,13
Téléphone mobile (compté professionnel)	0,74	Négligeable	0,74
Autres matériels TIC	8	1,68 (20TWh)	9,68
Total matériels	22,15	4,93 (58,5 Wh)	27,08
Activités du secteur TIC professionnel		3,1	3,1
Total général	22,15	8,03	30,18

Détail par secteur d'activité :

Total résidentiel	9,95	1,99 (23,5 TWh)	11,94
Total Professionnel	12,2	6,04	18,24

3.1.2 L'évolution de l'empreinte énergétique de 2008 à 2018

En préambule, on peut noter une faible évolution financière du secteur des TIC: les statistiques sur leur chiffre d'affaires signalent une stagnation du poids des TIC dans le PIB entre 2005 et 2014, à hauteur de 4%.

Le poids du secteur des TIC dans l'économie française (2005-2014) ¹ :

	2005 (SESSI)	2014 (Insee, Esane)
Chiffre d'affaires (Mds €)	191	204,7
CA en % du PIB	11% <i>4,4% en 1998 (Insee)</i>	9% ⁹⁰
Valeur ajoutée (Mds €)	74	78,1
Effectifs salariés	750 000 soit 3% des emplois <i>2,9% des emplois en 1998 (Insee)</i> ⁹¹	688 524 soit moins de 3% des emplois
Pourcentage des TIC dans le PIB (Eurostat)	4,04% en 2008	4,01% en 2016

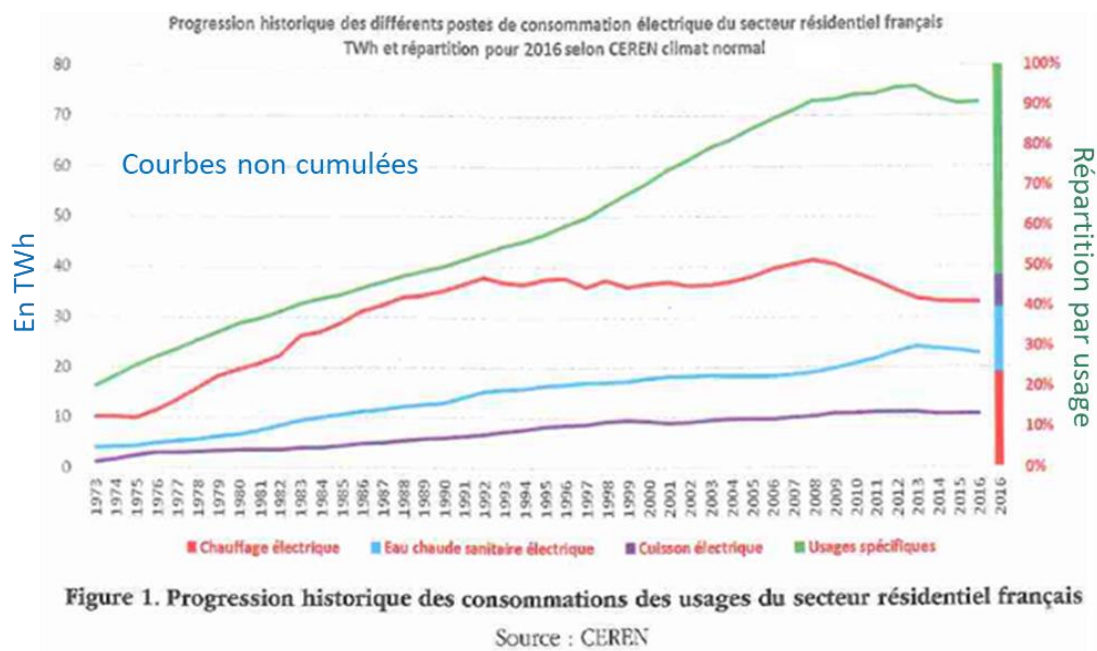
⁹⁰ Soit plus que l'agriculture (≈ 2%) et les services financiers (≈ 4,8%)

⁹¹ <http://www.journaldunet.com/0006/000627insee.shtml>

Au-delà de cet aspect financier, on notera une tendances générale à la stabilisation dans les différentes approches (RTE, ARCEP, CGTI) d'évaluation de l'impact des TIC.

3.1.2.1 Une consommation électrique stable selon RTE

Une première approche peut être menée grâce aux études de RTE et du CEREN, mais elles sont limitées à la consommation électrique. La tendance à la hausse de l'électricité spécifique (largement liée aux TIC) qui avait eu lieu jusqu'en 2008 s'est arrêtée après 2008 .



Nota 1: Chaque courbe doit se lire individuellement sur l'échelle de gauche en TWh. L'échelle de droite donne le pourcentage de chaque composante en 2016 par rapport à un total d'environ 140 TWh.

Nota 2 : le numérique est inclus, avec l'éclairage, dans les usages spécifiques (courbe supérieure, en vert). La rupture de tendance à partir des années 2007-2008 est sans doute liée à une stabilisation des TIC, et quelques progrès dans l'éclairage résidentiel (ampoules à basse consommation).

3.1.2.2 Une diminution des émissions de CO₂ des opérateurs, selon l'Arcep

Un graphique de l'Arcep montre une légère diminution des émissions de CO₂ des opérateurs de communication électronique.

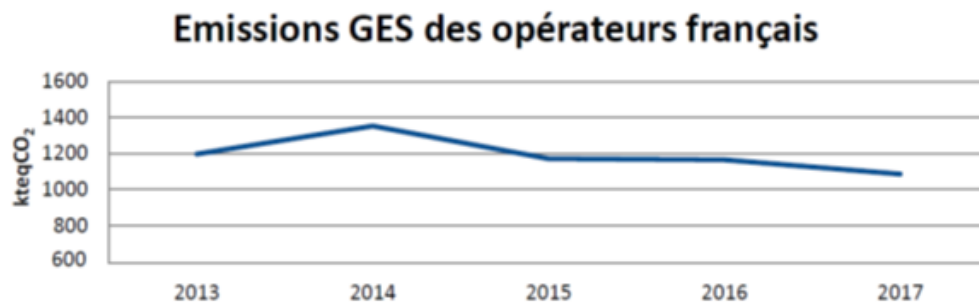


Figure 1 : Emissions carbone des opérateurs français. Source : réf. [4] et [7] à [15], compilation des auteurs

3.1.2.3 Une consommation électrique en baisse (de l'ordre du pourcent par an) depuis l'étude CGTI de 2008, dans une approche analytique

Le périmètre de l'étude ayant légèrement changé par rapport à 2008, il convient de se rapporter aux mêmes composantes pour mesurer l'évolution. L'étude de 2008 intégrait la consommation des équipements électroniques non directement liés aux TIC, comme l'électronique embarquée dans une automobile ou une machine à laver. Ces valeurs avaient été estimées à partir de chiffres d'affaires fournis par le SESSI et de ratios de kg CO₂ par euro de chiffre d'affaires. La mission n'a pas souhaité reprendre ces calculs notamment parce que les statistiques du SESSI ne sont plus disponibles. On a donc comparé des valeurs totales et des valeurs à assiette égale. Par ailleurs, les réseaux de Télécom n'étaient pas identifiés spécifiquement mais intégrés dans les 20 TWh de « autres matériels TIC », ramenant l'électronique hors informatique (qui n'est pas comptabilisée dans l'étude Négawatt) à une valeur d'environ 16 TWh.

Le tableau ci après analyse l'évolution constatée de la consommation électrique liée à l'usage.

	Etude CGE 2019				Etude CGE 2019		Rappel etude CGTI/ CGEDD/ ARCEP de 2008		
	2018				2015		2 008		
	Parc	Conso unitaire (kWh/an)	Conso totale (GWh)		totale (GWh) Excel		Parc	Conso unitaire (kWh/an)	Conso totale (GWh)
Smartphones & téléphones	61 000 000	4	240		180		65 000 000		100
Téléviseurs et audiovisuel			10 000		11 350				16 400
* Téléviseurs (1)	42 800 000	179	7 650		8 850		53 000 000	250	13 250
* Panneaux pub (cf autres terminaux)	1 000 000	1 500	1 350		1 000				0
* Magnétoscopes, décodeurs Canal plus, Hifi (1)			1 000		1 500				3 150
Orinateurs et postes de travail (2)			7 510		9 120				16 000
* Ordinateurs (2)	41 050 000	142	5 830		7 500		40 000 000	350	14 000
* Imprimantes	15 500 000	20	1 280		1 290				2 000
* Tablettes	23 000 000	19	400		330				0
Réseaux, box, datacenters			18 000		16 940				9 000
* Box et décodeurs TV Telcos (2)	28 667 000	158	5 030		5 100				2 000
* Réseaux yc switchs en entreprises			5 100		4 800				3 000
* Datacenters des OCE (10% du bilan RSE)			400		450				
* Serveurs et Datacenters hors DC OCE			7 470		6 590				4 000
Matériels électroniques hors Tel&Informatique (3)									17 000
Total			35 750		37 590				58 500
Total à assiette égale			35 750		37 590				41 500

Nota :

A titre de simplification, les calculs de consommation totale sont faits à partir de la consommation unitaire multipliée par le parc de fin d'année

(1): Les téléviseurs représentent en 2018 environ 8650 GWh (moyenne de 0,1 + 8,4-8,7) que l'on a répartis entre la ligne Téléviseurs et la ligne "Magnétoscopes, décodeurs Canal+, Hifi". Cette dernière ligne ne comprend pas les box des opérateurs Télécom

(2): Le total 2008 de la ligne "ordinateurs et postes de travail" était de 18 TWh, dont on a retiré 2 TWh pour les box ADSL

(3): Le rapport 2008 estimait l'électronique à 20 TWh mais comprenait les réseaux de Telecom qui ont été retirés de la ligne (estimation de 3 TWh)

La tendance apparaît être à la baisse entre 2008 et 2018, le chiffre de 2015, issu partiellement de Négawatt et partiellement des études de la mission, se trouvant entre les deux. Même si les deux analyses sont entachées d'une forte incertitude (probablement d'une dizaine de pourcents), il est difficile de nier une tendance à la diminution ou au moins à la stagnation. La mission a été la première surprise de cette évolution, qui semble venir des éléments suivants :

- Une décroissance de l'usage des téléviseurs, par ailleurs plus économes, les LED ayant remplacé les plasmas, et des matériels annexes comme les magnétoscopes qui ont pratiquement disparus (à noter toutefois que les décodeurs qui les ont remplacés sont intégrés dans le poste « box »).
- Une forte décroissance de la consommation des ordinateurs, les ordinateurs portables ayant remplacé les ordinateurs fixes, avec des consommations unitaires beaucoup plus faibles. Les smartphones tendent également à remplacer les ordinateurs, mais ils ont une consommation encore plus faible, la contrainte d'autonomie imposant aux constructeurs des efforts particuliers.
- Les réseaux telecom et informatiques (data centers) ont vu en revanche leur consommation progresser significativement. Le graphique de l'Arcep du paragraphe précédent n'est pas forcément comparable car la demi douzaine de TWh électriques attribuable aux opérateurs Télécom pèse moins d'un demi million de tonnes de CO₂, nettement moins que leurs émissions totales.

On peut penser que l'effort de réglementation de la commission européenne (règlement sur les veilles...) et la sensibilisation des acteurs à l'impact de l'usage des TIC ont porté leurs fruits.

3.1.2.4 Une empreinte CO₂ globale clairement en baisse dans la même approche analytique

Le tableau ci après reprend les chiffres de consommation électrique et les valorise à partir des sources Ademe, à l'instar de ce qui avait été fait en 2008. La valeur moyenne de l'Ademe a toutefois légèrement baissé, passant de 84 g/kWh en 2008 à 81 g en 2018, ce que la mission a intégré.

	Etude CGE : valeurs 2018						Etude CGTI 2008					
	USAGE Conso (t CO ₂)	Flux (Ventes annuelles)	empreinte kg CO ₂ unitaire	Empreinte prod totale tCO ₂	Cumul CO ₂ (conso + E grise)		USAGE Conso (t CO ₂)	Flux (Ventes annuelles)	empreinte unitaire kg CO ₂	Empreinte production tCO ₂	Cumul CO ₂ (conso + E grise)	
Smartphones & tel	19 440	30 500 000	50	1 525 000	1 544 440		8 400	34 000 000	21	740 000	748 400	
Téléviseurs et audiovisuel	810 000			2 160 000	2 970 000		1 377 600			6 750 000	8 127 600	
* Téléviseurs	619 650	4 500 000	400	1 800 000	2 419 650		1 113 000	8 000 000 environ	850	6 750 000	7 863 000	
* Panneaux pub	109 350	200 000	800	160 000	269 350		0				0	
* Magnétoscopes, décodeurs, H	81 000	2 000 000	100	200 000	281 000		264 600		intégré dans Téléviseurs		264 600	
Orinateurs et postes de travail	608 310			2 310 000	2 918 310		1 344 000			6 400 000	7 744 000	
Ordinateurs	472 230	8 500 000	200	1 700 000	2 172 230		1 176 000	9 300 000	800	6 400 000	7 576 000	
Imprimantes	103 680	3 600 000	100	360 000	463 680		168 000				168 000	
Tablettes	32 400	5 000 000	50	250 000	282 400		0				0	
Réseaux, box, datacenters	1 458 000			2 154 274	3 612 274		756 000			1 460 000	2 216 000	
Box	407 430	8 600 000	70	602 000	1 009 430		168 000				168 000	
Réseaux yc switchs en entreprises	413 100			610 378	1 023 478		252 000			1 200 000	1 452 000	
Datacenters des OCE (10% du bilan RSE)	32 400			47 873	80 273						0	
Serveurs et Datacenters hors DC OCE	605 070			894 024	1 499 094		336 000	1 300 000		260 000	596 000	
Matériels électroniques hors Tel&Informatique (non comptabilisés dans les études 2015 et 2018)							1 428 000			6 800 000	8 228 000	
Total	2 895 750			8 149 274	11 045 024		4 914 000			22 150 000	27 064 000	
Total à assiette égale	2 895 750			8 149 274	11 045 024		3 486 000			15 350 000	18 836 000	

Tableau mission : impact CO₂ annuel des TIC en France, somme de l'impact usage (électricité) et de l'impact production

Commentaires :

Comme expliqué supra, la mission n'a eu que partiellement accès aux statistiques de ventes, donc utilise parfois des approximations à partir d'autres données (comme les parcs...)

- Pour les smartphones, le parc étant stabilisé, et l'âge moyen étant de 2 ans, on a pris la moitié du parc comme hypothèse de ventes
- Absence de chiffres sur les ventes de téléviseurs, donc hypothèse d'un parc renouvelé tous les 10 ans
- Pour les ordinateurs, la mission a repris le chiffre du graphique du chapitre 2 (issu de données Douanes), mais ce chiffre est peut être sous estimé car ZDnet donne un chiffre légèrement supérieur (8 841 000 ventes). Sur le CO₂, une valeur moyenne de 200 kg par ordinateur a été retenue, intégrant le fait que certains portables sont associés à un écran externe.
- Pour les box, moyenne Ademe entre 60 kg CO₂ pour les box ADSL et 80 kg CO₂ pour les box fibre
- La mission n'a pas eu accès aux données de ventes de serveurs et la variété des matériels rend difficile l'estimation d'un poids CO₂ par serveur. Dans la mesure où les serveurs, comme les box, sont en fonctionnement 24 h sur 24, on a extrapolé le ratio Production/ consommation des box aux serveurs.

On remarque, comme en 2008, que l'impact de l'énergie grise (production des matériels) est très nettement supérieur à celui de l'usage compte tenu de l'électricité très décarbonée de la France (on a repris comme en 2008 les valeurs de l'Ademe, de 84 g CO₂/ kWh). L'empreinte production représente plus du double de l'impact usage en 2018, mais elle est clairement en décroissance par rapport à 2008, ceci malgré les fortes incertitudes qui pèsent sur les estimations de l'Ademe⁹².

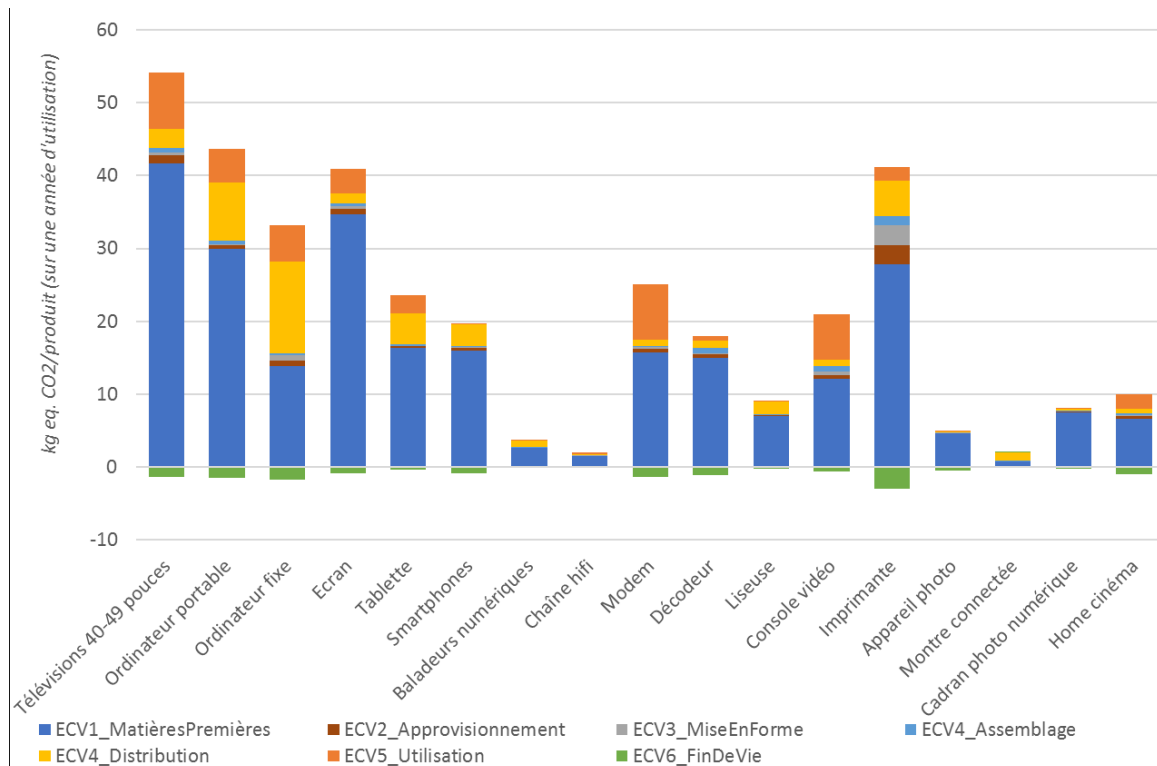
Les principales baisses sont liées :

- aux téléviseurs dont le marché a baissé (en 2008, on était dans le déploiement de la TNT et l'arrivée des écrans plats, alors que le marché est maintenant stabilisé). Par ailleurs, la visibilité sur l'impact production était très faible pour ces matériels nouveaux compte tenu de l'absence d'industriels français et les chiffres de 2008 ont peut être été surestimés ;
- aux postes de travail informatiques dont le nombre de ventes a légèrement diminué, mais surtout en raison d'une baisse drastique de l'impact unitaire (de 800 kg à environ 200 kg CO₂)

Les quelques hausses sont liées aux réseaux et aux smartphones, mais elles ne compensent pas les baisses.

Nota : Le calcul ci-dessus est effectué à partir des ventes annuelles de produits, affectées du poids en CO₂ de chacun des produits. Une autre approche est possible, à partir du parc, en utilisant des statistiques de l'Ademe donnant l'impact moyen en CO₂ d'un produit, somme de l'impact usage et d'un impact production & fin de vie divisé par la durée de vie du produit.

⁹² On rappellera juste que les chiffres sur l'empreinte CO₂ production d'un ordinateur portable varient dans un facteur 3 entre les estimations



Source Ademe : Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement- Sept 2018

Cette approche donne des résultats un peu inférieurs avec un peu moins de 10 millions de tonnes CO₂ par an. L'écart d'une quinzaine de pourcents entre les deux approches reste inférieur à l'incertitude sur les résultats (qui est probablement d'environ 25%).

Cumul de l'énergie grise et de l'énergie liée à l'usage des équipements numériques				
		Parc 2018	kg CO ₂ /an	Impact total (t CO ₂)
Smartphones & téléphones		61 000 000	20	1 220 000
Téléviseurs et audiovisuel				2 611 200
	* Téléviseurs (1)	42 800 000	54	2 311 200
	* Panneaux pub	1 000 000	300	300 000
Orinateurs et postes de travail				3627 500
	* Ordinateurs	41 050 000	60	2 463 000
	* Imprimantes	15 500 000	41	635 500
	* Tablettes	23 000 000	23	529 000
Réseaux, box, data centers				1 952 676
	* Box et décodeurs TV	28 667 000	28	802 676
	* Réseaux yc switches en entreprises			500 000
	* Data centers des OCE (10% du bilan RSE)			50 000
	* Serveurs et Data centers hors OCE	3 000 000	200	600 000
Matériels électroniques hors Tel&Informatique				Non compté
TOTAL				9 411 376

3.2 La croissance prévisible

Les prévisions de croissance sont particulièrement difficiles dans un domaine où les points de départ sont incertains et où l'on observe des croissances pouvant atteindre plus de 30% annuellement et des gains d'efficacité du même ordre de grandeur. Il faut garder à l'esprit les trois grandes classes de questions que soulèvent les hypothèses des études prospectives :

- Des incertitudes de prévision sur les gains de quelques pourcents dans un sens ou dans l'autre se transforment, par exponentiation, en explosion ou stabilisation, voire décroissance de la consommation.
- Le fait d'actualiser au moyen d'exponentielles ne tient pas compte des phénomènes de saturation. Pour exemple, le temps passé à regarder des vidéos en streaming ne peut croître à l'infini, et dépasser 24 heures par jour.
- Enfin, la question de ce que l'on actualise varie selon les études et est cependant crucial. Par exemple, The Shift Project se fonde sur le volume des données estimé, alors que d'autres se fondent sur le nombre de matériels, le volume de données se déduisant alors de la performance et de l'usage de ces matériels.

Nous avons analysé trois études prospectives :

- 2 études au niveau mondial :
 - The Shift Project⁹³ : - *Lean ICT – pour une sobriété numérique* (octobre 2018)
 - International Energy Agency (AIE) : *Digitization & Energy* (2017)⁹⁴
- 1 étude au niveau France
 - Association Negawatt⁹⁵ : *La révolution numérique fera-t-elle exploser nos consommations d'énergie ?* (Décembre 2017)

Ces deux types d'études couvrent des réalités très différentes : au niveau mondial, un certain nombre de pays sont en train de s'équiper massivement. Au niveau France, on assiste à une saturation sur certains aspects, comme le montre le baromètre du numérique⁹⁶. Les méthodologies sont également assez différentes et se fondent toutes sur des modèles.

3.2.1 Les études prospectives au niveau mondial

L'ensemble des données de trafic, de nombre de terminaux est issu du livre blanc de Cisco⁹⁷. La croissance annuelle du trafic est estimée à 26%/an, celle du nombre de terminaux à 10%/an.

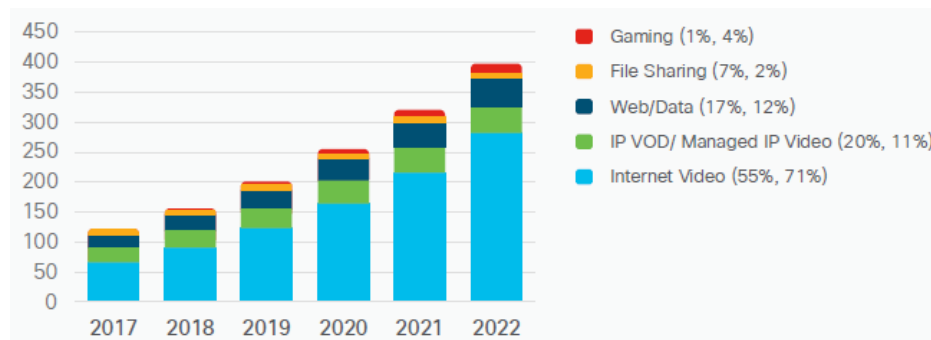
⁹³ Le rapport, son résumé et sa méthodologie sont à l'adresse : <https://theshiftproject.org/article/pour-une-sobriete-numerique-rapport-shift/>. Les fiches de calcul sont téléchargeables à l'adresse : <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/04/Lean-ICT-Materials-Liens-%C3%A0-t%C3%A9l%C3%A9charger-V3.pdf>.

⁹⁴ <https://www.iea.org/digital/>

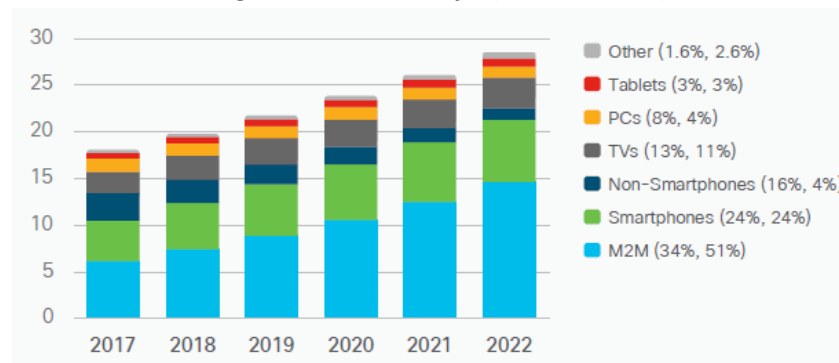
⁹⁵ <https://negawatt.org/Un-nouvel-article-sur-decrypterlenergie-org>.

⁹⁶ Par exemple, les Français utilisent internet de façon stable sur plusieurs années à 18h par semaine.

⁹⁷ <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>.



Usages associés au trafic (Source : Cisco)



Types de terminaux (Source Cisco)

Avant de rentrer dans le détail, voici les principales conclusions des deux études au périmètre mondial. The Shift Project utilise la méthodologie développée par Andrae et Edler (2015)⁹⁸ : les projections au niveau mondial, se fondant sur la prévision de trafic de Cisco, sont faites jusqu'en 2025, selon 4 scénarios :

- *Expected updated* : il s'agit du scénario « expected » d'Andrae où seules les données de trafic ont été mises à jour (à la hausse) selon les données de Cisco.
- *Higher growth higher EE* (energy efficiency) : actualisation des données de trafic selon la croissance historique (qui croît avec le temps) et une prévision de gains d'efficacité énergétique supérieur de 5 point au scénario *expected*.
- *Superior growth peaked EE* : la croissance du trafic est légèrement supérieure au scénario précédent, mais les gains d'efficacité plafonnent à partir de 2020.
- *Sobriety* : ralentissement de la croissance du trafic à partir de 2020 avec des gains d'efficacité égaux au scénario précédent.

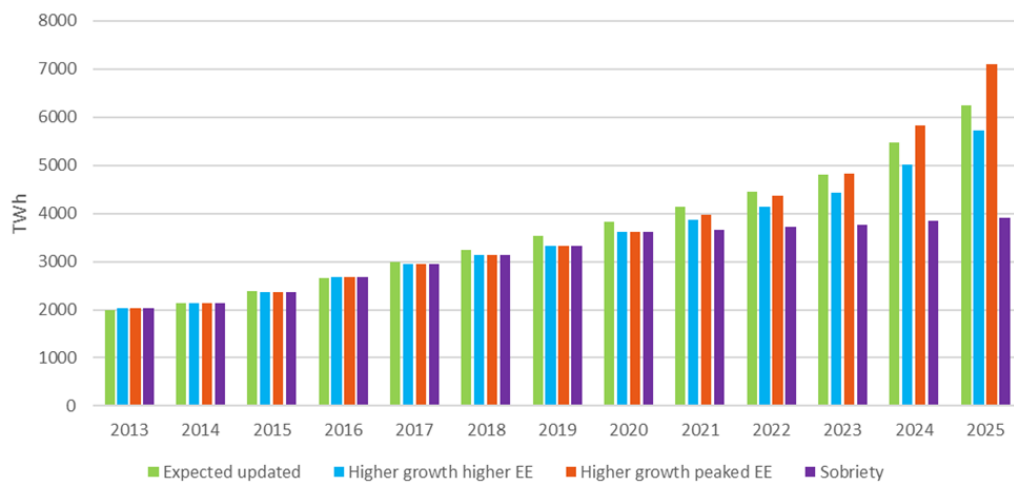
A titre d'exemple, voici les données de trafic utilisées dans le scénario « expected updated »

Traffic (in Exabytes)	2013	2014	2015	2016	2017	2020	2023	2025
Fixed Wired Networks	343	389	506	588	682	1064	1660	2592
Fixed WIFI Networks	251	302	403	484	581	1286	2826	6208
Total Fixed Networks	594	691	910	1071	1262	2350	4486	8800
Mobile Networks	16	29	59	86	126	391	1216	3785
TOTAL Networks	610	720	969	1157	1388	2741	5702	12585
Data Centers	3070	3400	4700	6500	8600	17100	32603	62162

Source : The Shift Project

⁹⁸ <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117>. Les fiches de calcul associées sont téléchargeables à l'adresse : <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117/s1>.

On obtient alors les prévisions suivantes :



Source : The Shift Project

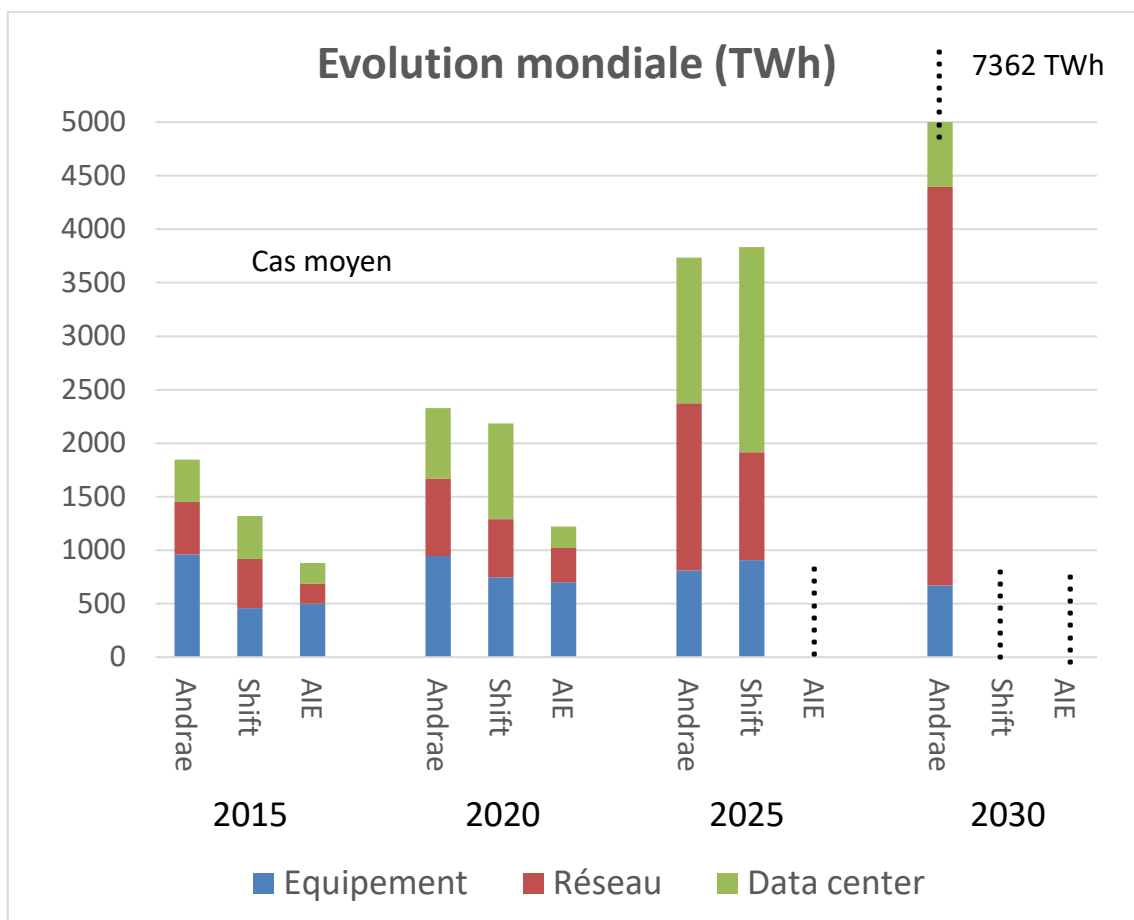
L'étude de l'AIE fournit des projections sensiblement différentes. Réalisée en 2017 sur des chiffres de 2015, elle fait des projections pour 2020 et estime qu'au-delà de cet horizon, les prévisions sont fortement hasardeuses. L'évolution des performances se fonde sur la loi de Koomey⁹⁹, qui montre que l'on observe un doublement du nombre d'opérations d'un dispositif informatique en régime de crête à consommation énergétique constante tous les 1,57 ans. Ces hypothèses sont beaucoup plus optimistes que celles utilisées dans les études précédentes. Les principaux résultats sont les suivants :

- La consommation des data centers est de 194 TWh en 2014. Malgré un triplement du trafic, la consommation électrique devrait croître seulement de 3% sur la période.
- En ce qui concerne les réseaux, leur consommation est de 185 TWh en 2015. Les hypothèses sur les tendances futures prévoient une fourchette de -15% à +70% à horizon 2020, en fonction des gains d'efficacité attendus.
- Enfin, pour les terminaux, leur consommation unitaire diminue fortement, mais leur nombre croît. De plus, l'IoT (Internet des objets) est encore peu développé aujourd'hui. La question cruciale sera la consommation en veille de tous ces dispositifs, car ils seront en activité seulement une fraction réduite du temps.

L'AIE ne se prononce pas sur des prévisions à plus long terme.

La figure suivante montre les résultats comparés :

⁹⁹ Koomey, J., et al. (2011). "Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing". IEEE Annals of the History of Computing, 33(3), 46–54. <http://doi.org/10.1109/MAHC.2010.28>.



Les pointillés en 2025 et 2030 correspondent au fait que ces études ne donnent pas de chiffres pour ces dates.

Source : Andrae, The Shift Project, AIE

La comparaison détaillée des trois segments de consommation se trouve en annexe.

3.2.2 L'étude au niveau France de l'association Negawatt

Il s'agit d'une étude au niveau français, qui se fonde sur une prévision du nombre de terminaux, de data centres et estime l'évolution de leur efficacité énergétique à l'horizon 2030. Son scénario, dit « intensif » est le suivant :

Scénario « intensif » à horizon 2030	
Infrastructures réseaux	Quadruplement
Nombre de serveurs	Triplement
Nombre d'ordinateurs	+2% par an
Nombre de tablettes et terminaux	Triplement
Nombre d'écrans	+3% par an

Les gains d'efficacité estimés dans le futur :

Gains d'efficacité à horizon 2030	
Puissance électrique par serveur	-4% par an
Consommation par ordinateur	-7% par an
Consommation par tablette	+3% par an
Consommation par écran	-5% par an

Consommation autres équipements	Stable
Objets connectés supplémentaires	8 par personne

Le point de départ des projections est la situation 2015, qu'il est intéressant de mettre en regard de l'étude de 2009 du CGTI.

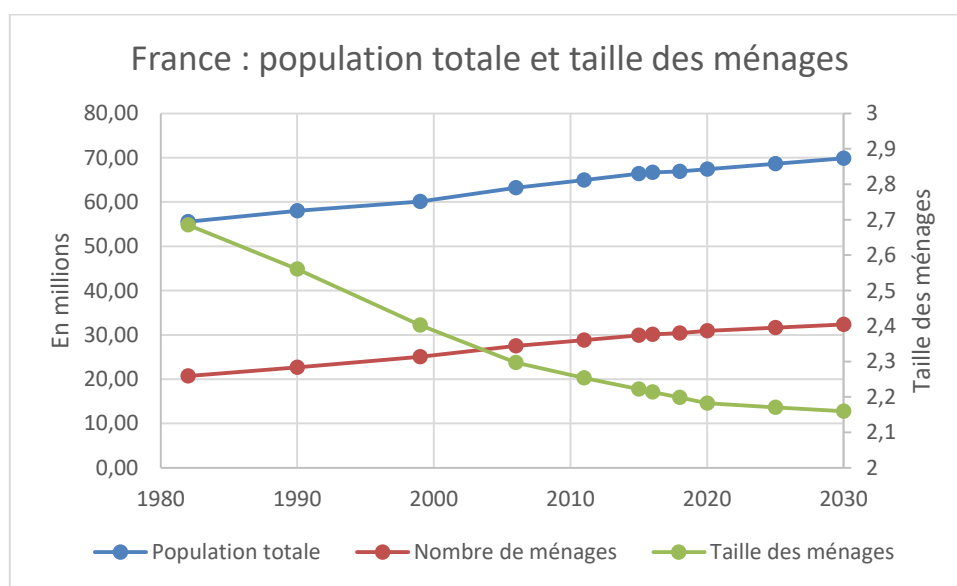
Consommation électrique (TWh)	CGTI (2008)	Négawatt (2015)
Infrastructures de réseaux	3,5	3,5
Serveurs entreprises et data centers	4,5	10,0
Terminaux professionnels (hors serveurs)	11,0	21,0
Terminaux domestiques	23,5	22,0
Consommation produits non informatiques	16,0	Non chiffré
Total du numérique	58,5	56,5

Les résultats de la simulation indiquent une croissance d'environ 25% à horizon 2030, soit 15 TWh/an.

3.2.3 Prospective au niveau France avec une méthodologie propre

Dans cette partie, nous nous proposons de nous livrer à cet exercice de prospective, en partant du parc actuel et de sa consommation, établi dans la première partie de ce rapport, puis de dégager les tendances à la lumière du baromètre du numérique, d'abord en termes de parc, puis en termes d'usage.

Avant de procéder à l'exercice de prévision, il faut également noter quelques caractéristiques de la population française, comme le montrent les deux graphiques ci-dessous.

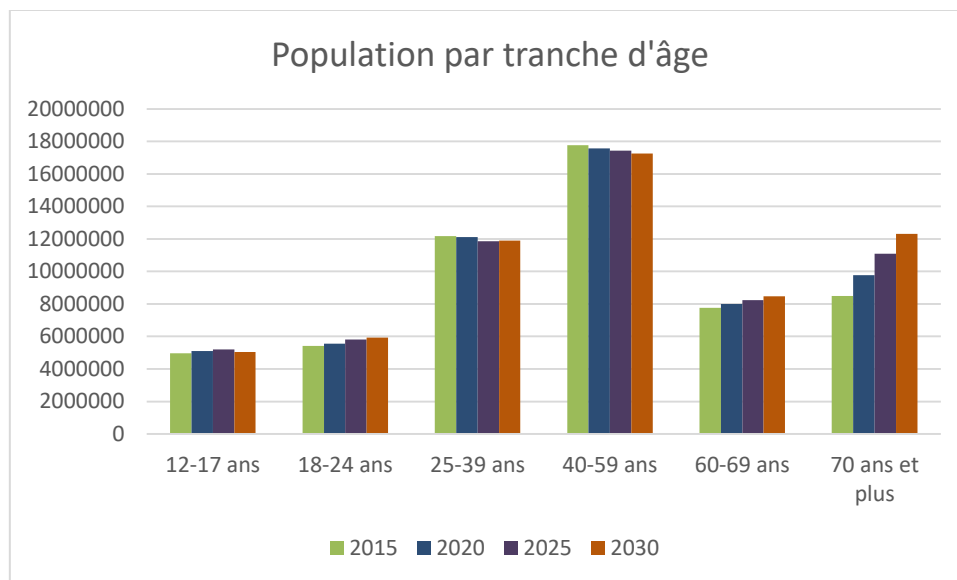


Source : INSEE

- La population française croît lentement et devrait atteindre près de 70 millions de personnes à l'horizon 2030.
- La taille des ménages continue de décroître, pour atteindre 2,16 personnes par ménage en 2030.

- Ainsi, le nombre de ménages croît en proportion plus vite que la population. Cette remarque est importante pour l'évaluation du nombre de téléviseurs, car ceux-ci sont en général partagés entre les différents membres du ménage¹⁰⁰.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la population par tranche d'âge. Le phénomène le plus important est le vieillissement de la population, avec une croissance de 45% en 12 ans de la tranche d'âge de plus de 70 ans et une croissance de 9% pour la tranche d'âge 60-69 ans.

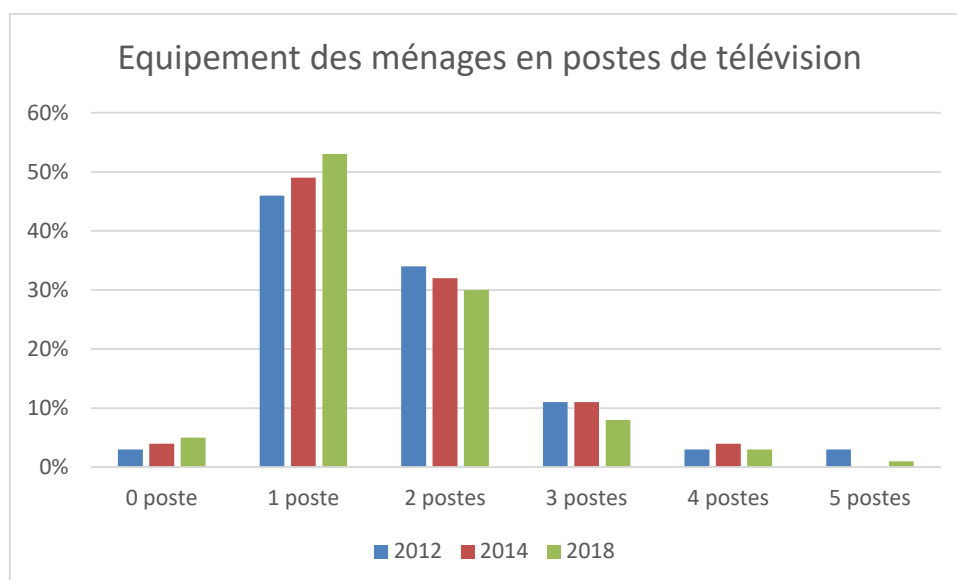


Cependant, le vieillissement de la population, donc le passage d'un certain nombre de personnes au cours du temps d'une tranche à la suivante, ne permet pas à lui seul d'expliquer les différentes tendances observées par le baromètre du numérique, en particulier pour la vidéo sur internet, comme nous le verrons dans ce qui suit.

3.2.3.1 Téléviseurs

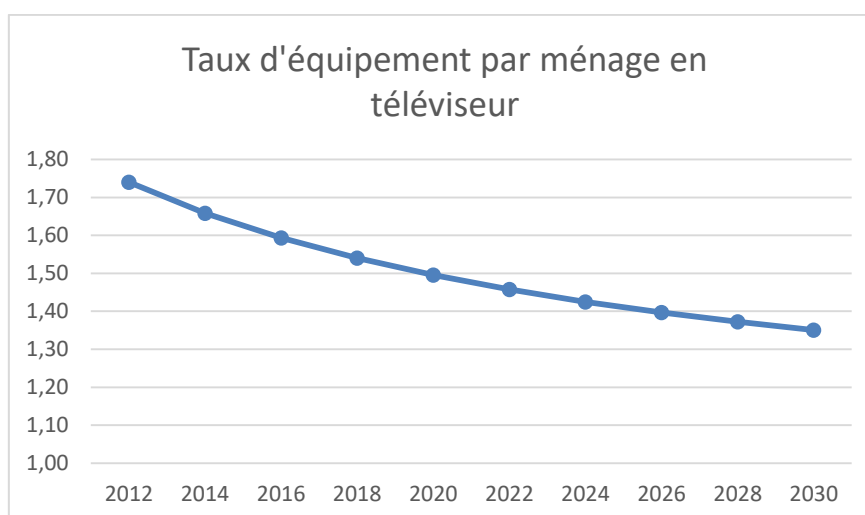
Le taux d'équipement des ménages en téléviseurs ne fait que décroître, selon les données du baromètre du numérique 2018. Le diagramme suivant donne l'évolution du nombre de téléviseurs par foyer. Le nombre de foyers ayant 1 ou 0 téléviseur augmente. Ceux en ayant 2 ou plus diminue. Une autre étude, menée par le CSA fournit des estimations similaires (cf. annexe 9).

¹⁰⁰ A noter que le baromètre du numérique, bien que sondant les personnes physiques, ne sonde qu'au plus une personne par ménage.

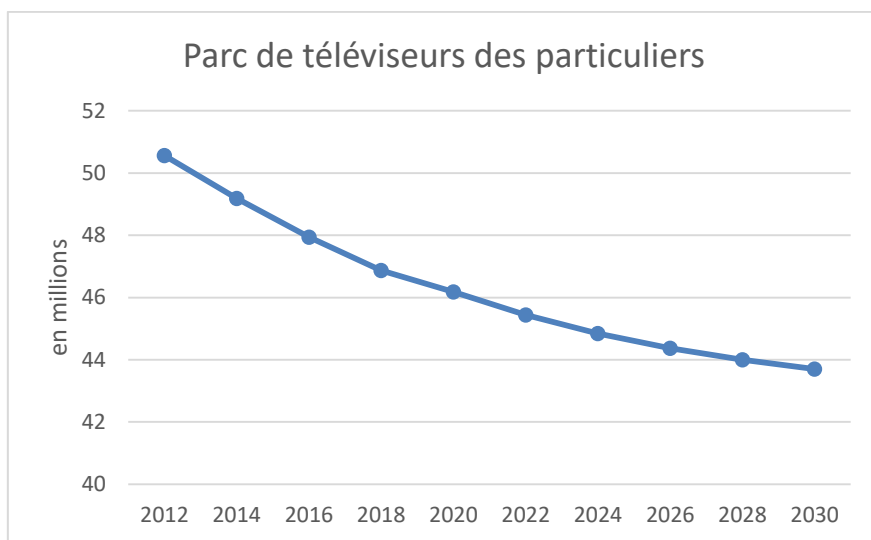


Source : baromètre du numérique 2018

Nous avons modélisé ce taux par une hyperbole d'asymptote 1. En toute rigueur, on devrait tenir compte des 2 à 3% de ménages n'ayant aucun téléviseur. Ce taux d'équipement, estimé par foyer, devrait atteindre 1,35 en 2030.



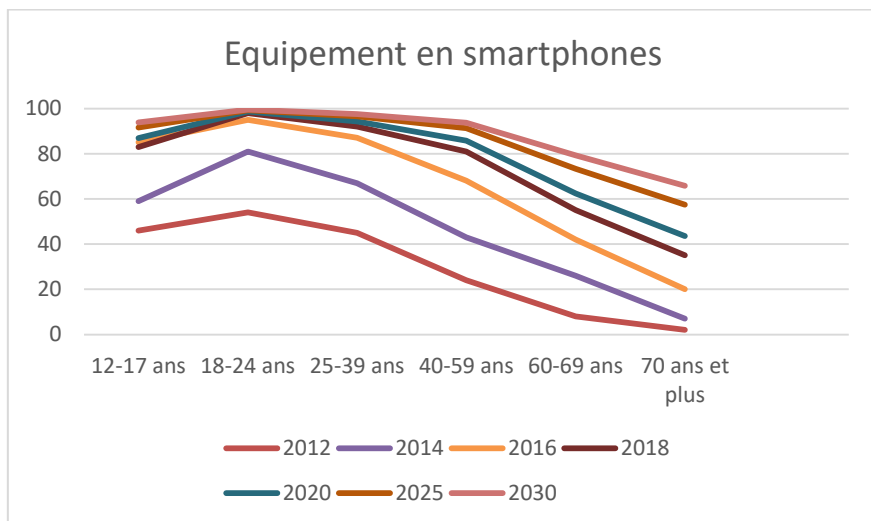
En ce qui concerne le parc, celui-ci diminue également, malgré l'augmentation du nombre de foyers.



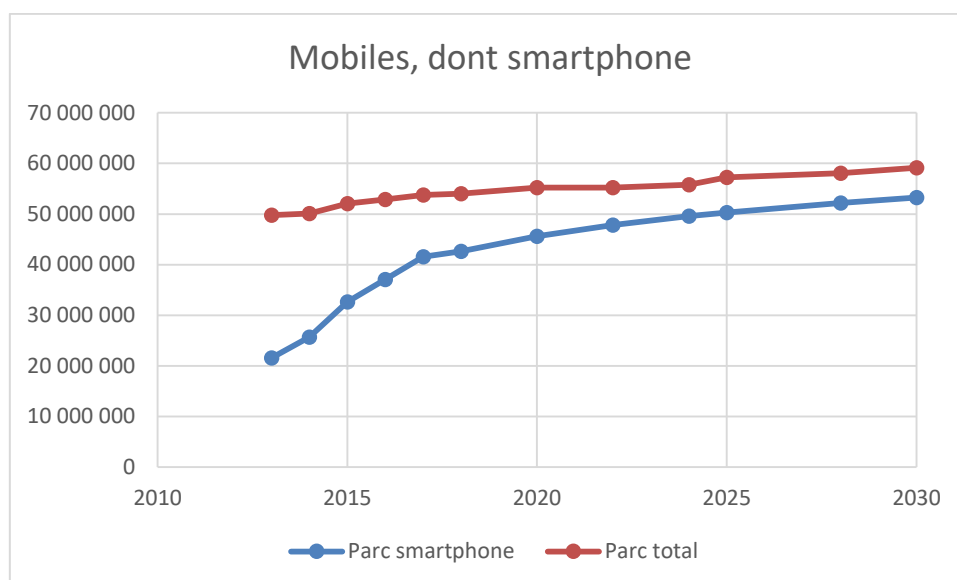
Sur la période 2018 – 2030, nous anticipons une baisse du parc de 6,8%, soit 0,58% par an.

3.2.3.2 Smartphones et téléphones mobiles

Pour évaluer le parc de smartphones, nous considérons un maximum d'un smartphone par personne, hors double équipement professionnel / personnel, ce qui est quasiment atteint pour les 18-24 ans. Nous proposons de modéliser le taux d'équipement par tranche d'âge, avec une asymptote à 1. Le graphique ci-dessous montre le taux d'équipement en smartphones par tranche d'âge au cours du temps. C'est naturellement la tranche des plus âgés qui contribue prioritairement à l'augmentation du parc.



Source : Baromètre du numérique pour les données antérieures à 2018

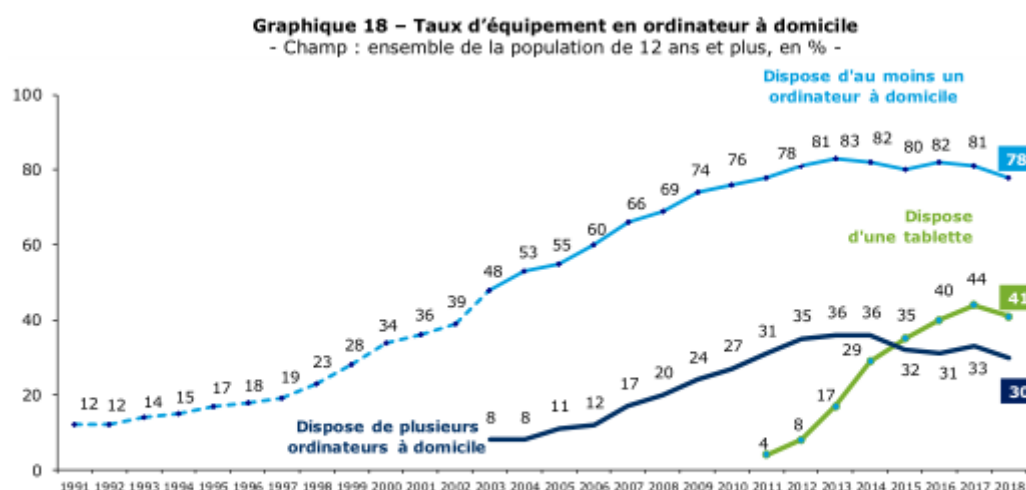


Source : Arcep pour le parc total, baromètre du numérique pour le parc de smartphones jusqu'en 2018

Ainsi, la croissance estimée du parc de smartphones entre 2018 et 2030 est de 25,0% (1,9% par an), celle du parc global, incluant les téléphones mobiles, de 9,4% (0,75% par an).

3.2.3.3 Ordinateurs et tablettes

Selon le baromètre du numérique le taux d'équipement en ordinateur est très légèrement décroissant. C'est principalement la tranche d'âge 18-24 ans où l'on observe une baisse spectaculaire entre 2017 et 2018, passant de 93% à 76%. Ces résultats sont difficiles à interpréter. Première interprétation : cette tranche d'âge n'a quasiment pas renouvelé son parc d'ordinateurs, au profit de l'utilisation du smartphone. Deuxième interprétation : cette génération n'utilise plus l'ordinateur familial, qui continue d'être employé par les autres membres du foyer. Cette deuxième interprétation tend à minimiser la baisse du parc d'ordinateurs. En tout état de cause, celui-ci baisse, preuve en est la baisse des ventes ainsi que la baisse du multi-équipement (voir le graphique ci-dessous).



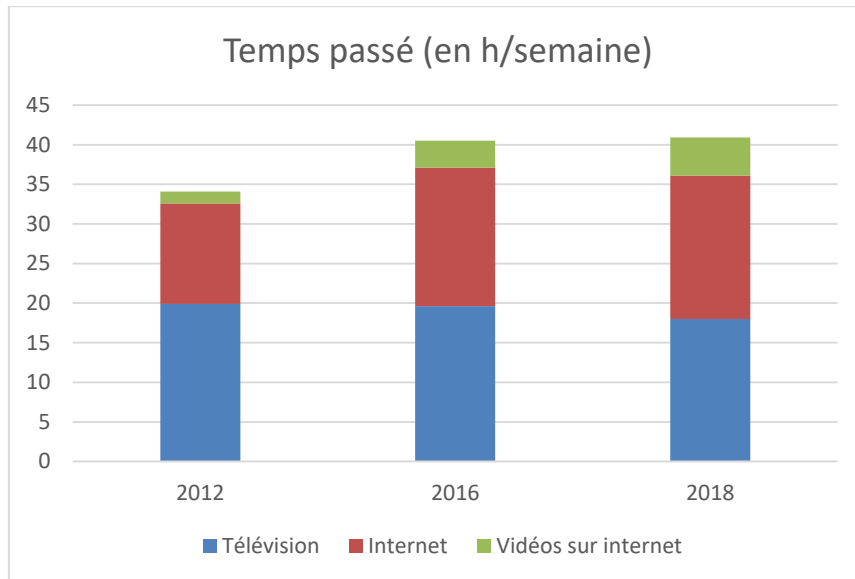
Source : CREDOC, Enquêtes sur les « Conditions de vie et les Aspirations ».

Note : la courbe en pointillés porte sur les 18 ans et plus ; à partir de 2003, la courbe porte sur les 12 ans et plus.

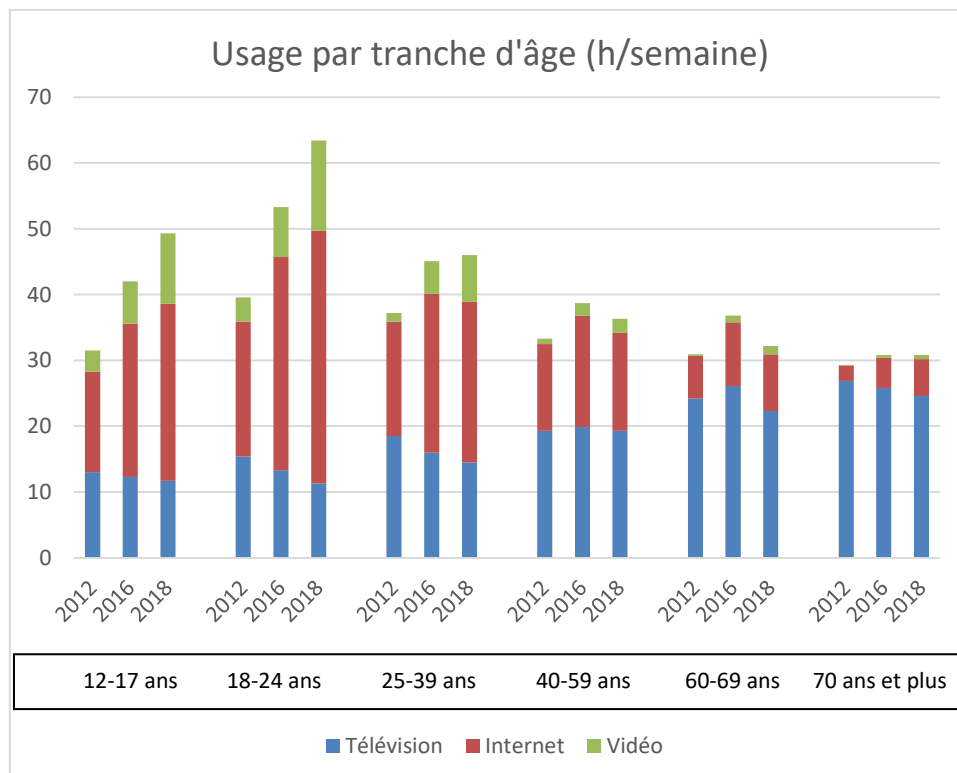
Nota : la baisse relevée par de baromètre du numérique est à comparer à la stagnation de l'observatoire de l'audiovisuel (résultats 2^{ème} semestre 2018).

3.2.3.4 Evolution des usages

En termes d'usages, le baromètre du numérique nous donne trois années de référence : 2012, 2016 et 2018. Les résultats montrent une stagnation en moyenne du nombre d'heure passé devant les équipements numériques, cependant avec une répartition différente. La télévision baisse, au profit des autres supports. En parallèle, la vidéo par internet progresse fortement. A noter qu'en 2018 (resp. 2016), 25% de la population possède un abonnement de VOD illimitée (resp. 20%).



Cependant, cette répartition du temps est assez hétérogène en fonction de l'âge et présente une dynamique forte. Si l'on regarde l'évolution de cette répartition entre 2012 et 2018, on observe qu'elle est rapide pour les jeunes et tend à stagner, voire décroître pour les plus de 25 ans.



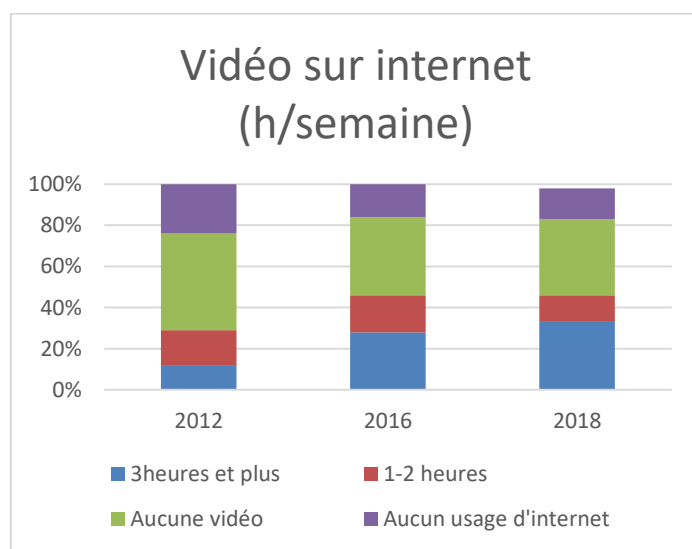
Source : baromètre du numérique (2018)

Quelques observations et interprétation :

- Les seniors regardent proportionnellement plus la télévision.
- La tranche 18-24 ans passe en moyenne 63,4 h par semaine devant des écrans, ce qui représente 9h en moyenne par jour. Bien que le baromètre ne le précise pas, ce temps devrait inclure le temps passé devant des écrans au travail, les journées n'ayant que 24h...
- On observe une modification du comportement si l'on passe à la tranche 25-39 ans, logiquement due à un changement de mode de vie : vie en couple, naissance d'enfants, etc. qui réduisent la consommation numérique. Celle-ci reste cependant au niveau de 45,9 h par semaine, soit un peu plus de 6h30 par jour.
- Pour les tranches d'âge suivantes (supérieur à 40 ans), il s'agit d'un phénomène générationnel, où l'on reproduit le mode consommation auquel on a été habitué, à quelques évolutions près.

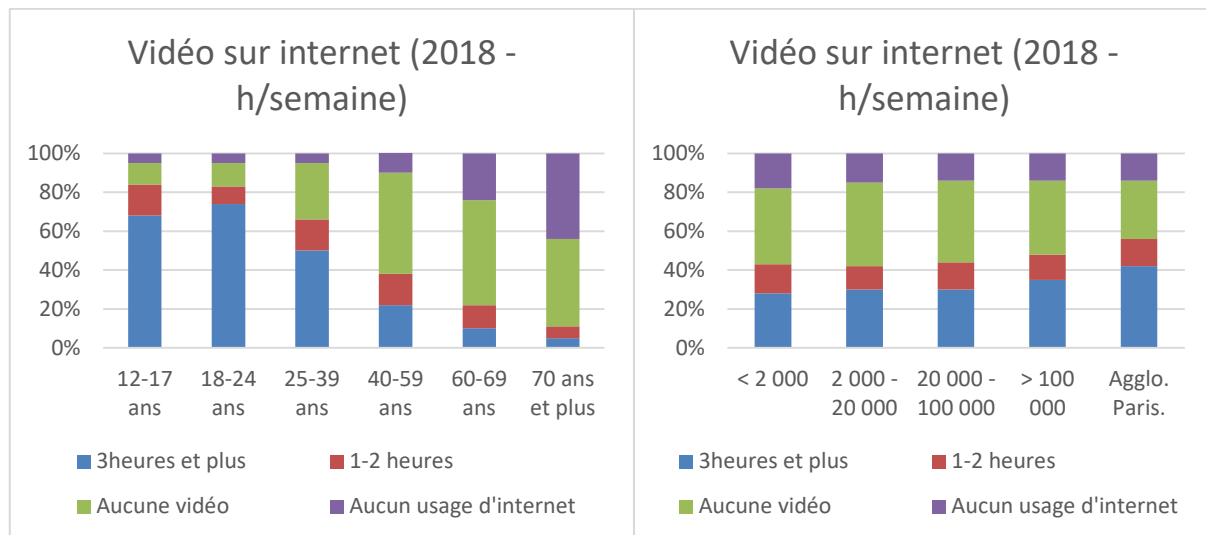
En conclusion, il semble que l'on assiste à un phénomène de saturation pour les usages actuels dans les deux tranches 18-24 ans et 25-39 ans.

Si l'on se concentre sur la vidéo sur Internet, qui est prépondérante pour les moins de 40 ans, la durée de visionnage croît depuis 2012 :



Source : baromètre du numérique (2018)

Si l'on regarde en fonction de l'âge ou de la taille de la ville :



Source : baromètre du numérique (2018)

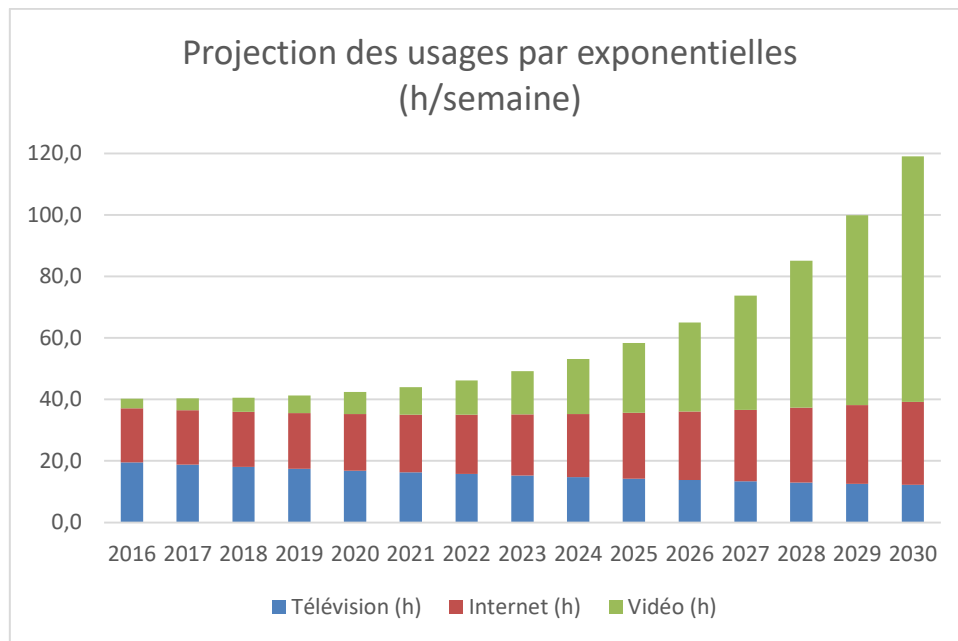
Contrairement à l'intuition, la consommation de vidéos sur internet est plus importante dans les grandes agglomérations que dans les petites, alors que l'offre de cinémas et de spectacles est plus faible dans ces dernières.

De ces données, on peut conclure à un effet de saturation en ce qui concerne le temps total passé sur des équipements numériques, d'environ 41h par semaine.

La grande inconnue concerne la vidéo sur internet. En effet, l'extrapolation statistique des données, pour les 18-24 ans fournit rapidement des résultats aberrants. En effet, on observe une croissance de 34% par an du temps passé à visionner des films sur les deux dernières années, pour atteindre 13,7h par semaine.

- Si l'on extrapole de manière exponentielle, on obtient un temps passé de 255h par semaine dans 10 ans, soit plus que le temps disponible physiquement !
- Si l'on extrapole linéairement, on obtient, en 2030 environ 50h de visionnage de vidéos par semaine, soit 7h par jour, ce qui est plus que l'évolution prévisible du temps total passé sur des dispositifs numériques, aujourd'hui de 40,9h au total par semaine.

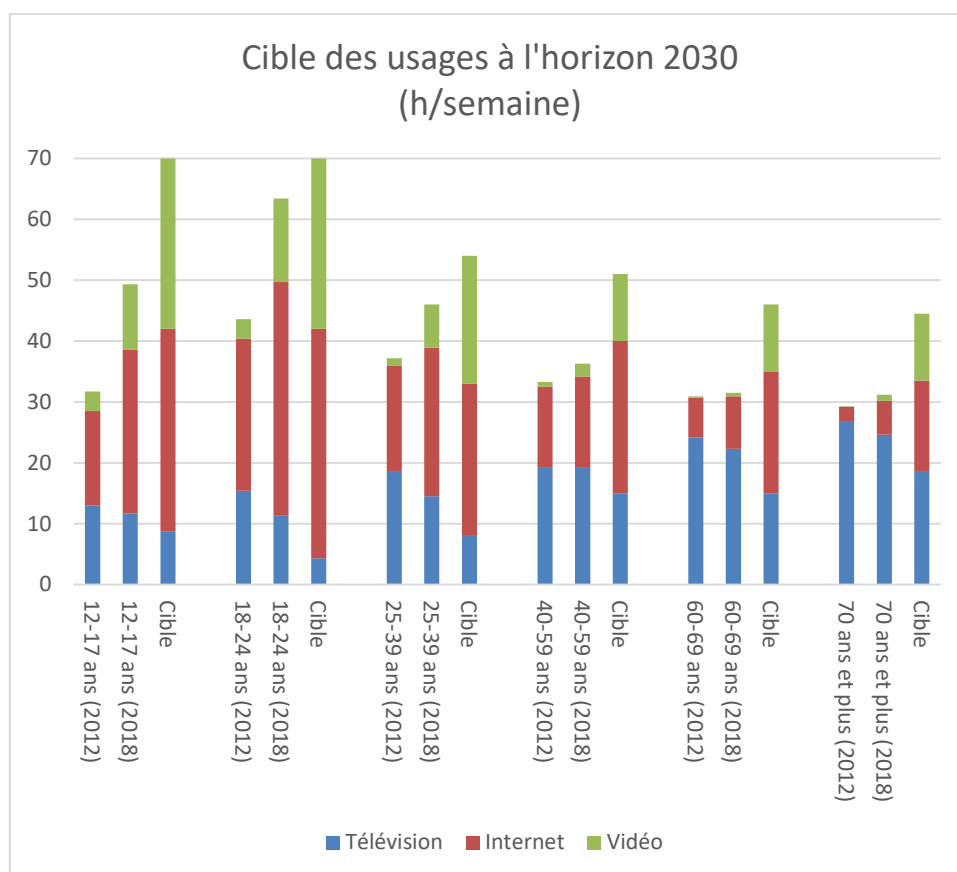
Il en est de même pour le temps passé sur internet pour cette même tranche d'âge. Le graphique suivant montre comment se projette la moyenne sur l'ensemble de la population de plus de 12 ans.



Il est donc nécessaire de prendre en compte la notion de saturation dans ces différents usages, en particulier pour la vidéo. Pour cela, nous avons pris les hypothèses suivantes pour les valeurs cible :

- Le temps global passé par semaine sur l'ensemble des trois usages ne peut excéder 70h.
- Pour la vidéo, nous prenons en compte
 - 28h par semaine (4h par jour) pour les 12-24 ans
 - 21h par semaine (2 films de 1h30 par jour) pour les 25-39 ans
 - 11h par semaine (un film par jour) pour les plus de 40 ans
- Pour la télévision, nous prenons les projections de décroissance selon les taux observés.
- Pour internet, les données historiques sur la période 2012-2018 sont difficiles à exploiter :
 - Pour les 12-24 ans, le temps passé sur internet est limité au temps restant pour atteindre 70h
 - Pour les 25-39 ans, nous prenons la croissance observée sur la période 2016-2018
 - Pour les 40-59 ans, on observe une décroissance sur la période 2016-2018, après une croissance sur la période 2012-2016. Nous proposons de prendre en considération la période 2012-2018.

On obtient alors les projections à l'horizon 2030 suivantes. On observe donc l'effet de saturation pour les 12-39 ans, ainsi qu'une diffusion des pratiques numériques vers les plus âgés pour l'utilisation d'internet et le streaming vidéo.



En résumé, les taux de croissance (ou décroissance anticipés sont les suivants :

	Croissance sur la période 2018-2030	Croissance annuelle
Télévision	-32%	-3,2%
Internet	+28%	+2,1%
Vidéo	+219%	+10,1%

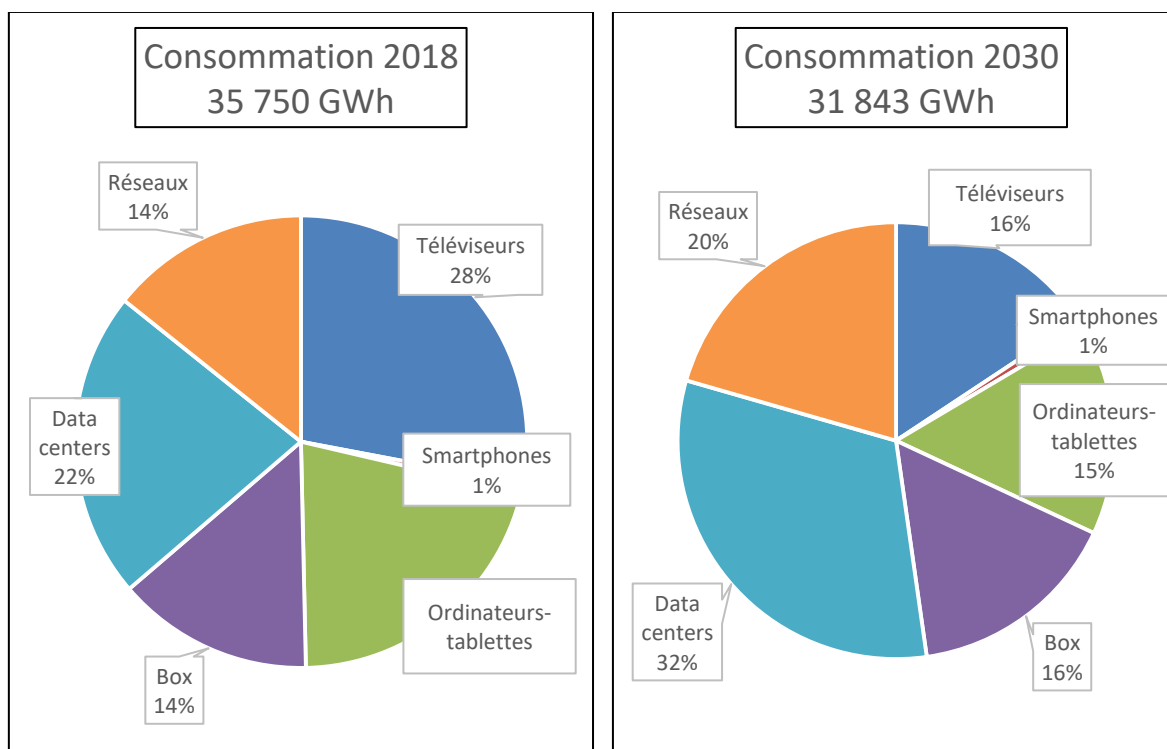
Pour aborder la consommation énergétique globale en France à horizon 2030, nous proposons de partir de la consommation estimée dans le présent rapport pour 2018 et de prendre en compte la variation du parc, la variation du temps d'utilisation du parc et l'efficacité énergétique anticipée.

	Consommation 2018 (GWh)	Variation du parc	Variation du temps d'utilisation	Efficacité énergétique	Consommation 2030 (GWh)
Téléviseurs	10 000	-0,6%	-3,2%	-5%	4 996
Smartphones	240	+1,9%	+4,5%	-5%	255
Ordinateurs-tablettes	7 510	0%	+4,5%	-7%	4 924
Box	5 030	0%	0%	0%	5 030
Data centers	7 870	+10,1% (pour moitié)		-4%	10 096
Réseaux	5 100	+10,1% (pour moitié)		-4%	6 543
Total	35 750				31 843

Hypothèses de calcul :

- La variation du temps d'utilisation des smartphones et des ordinateurs est obtenue par la croissance du temps passé à visionner des films et accéder à internet.
- Pour les téléviseurs, nous n'avons appliqué la variation du parc, du temps d'utilisation et l'efficacité énergétique uniquement à l'usage des particuliers (soit à 8 650 GWh de 2018). L'usage pour les publicités a été supposé constant, et nous n'y avons appliqué que l'efficacité énergétique anticipée.
- La croissance des réseaux et des data centers est supposée égale pour moitié à celle de la vidéo, sachant que c'est cet usage qui engendrera à terme la moitié du trafic.
- L'efficacité énergétique est reprise de l'étude Négawatt. A noter que l'efficacité des réseaux et data centers est plutôt de l'ordre de 10% par an dans les prévisions du Shift Project et d'Andrae.
- Pour les box, en l'absence de données, nous avons supposé leur consommation constante, sachant que même si on augmente le temps où on la sollicite réellement, les mécanismes de mise en veille devraient largement compenser cette augmentation.

En conclusion, si on considère les usages actuels, incluant la vidéo sur internet, la consommation électrique globale décroît de 11% à horizon 2030, soit une décroissance de 1,0% par an. Cette diminution est essentiellement due aux téléviseurs, fonctionnant moins longtemps, aux ordinateurs, qui compensent la croissance de la consommation (forte) des data centers et réseaux. Ces derniers représenteront alors plus de la moitié de la consommation en fonctionnement (52%). Les deux figures ci-dessous illustrent cette transformation de la répartition de la consommation :



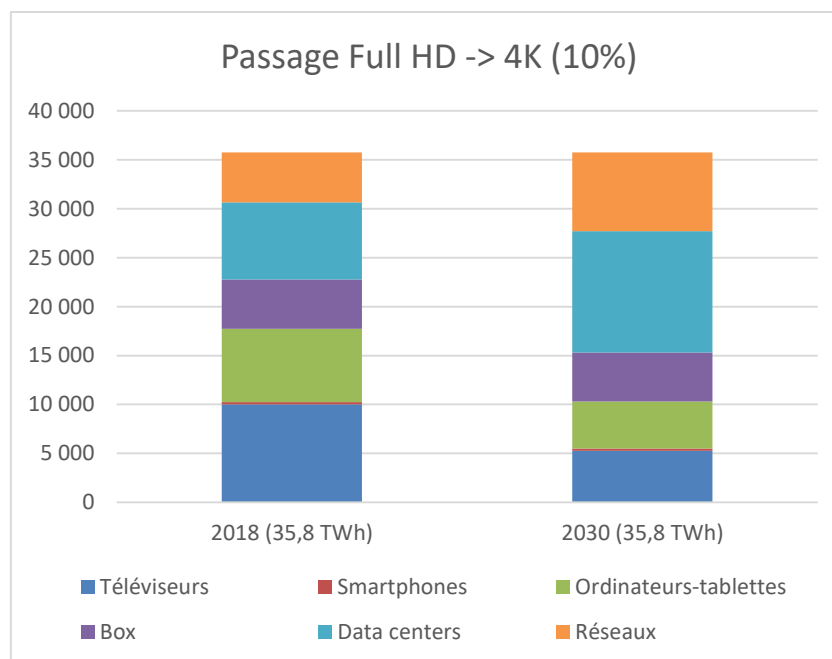
Ces projections ne doivent pas cacher le fait que nous travaillons avec les usages actuels et leurs tendances naturelles. Les études telles le Shift Project ont une approche par l'extrapolation du débit faite par Cisco, sensée prendre en compte statistiquement ces nouveaux usages, la saturation sur un usage étant précisément contrebalancée par ces nouveaux usages.

Citons quelques nouveaux usages, qui, eux, rendus possibles, vont dans le sens d'un surcroît de consommation¹⁰¹ :

- l'augmentation de la résolution des vidéos (HD puis 4K puis 8K)¹⁰²,
- les jeux sur le cloud et de façon générale, les logiciels en mode SaaS,
- la voiture connectée,
- la digitalisation des entreprises,
- l'internet des objets, avec en particulier le marché de l'automatisation, de la vidéo-surveillance, etc.
- l'installation de data centers en France¹⁰³,
- le stockage de plus en plus important de données, à des fins d'assurance, de sécurité ...

Illustrons de manière quantitative ce qu'il en est à l'aide de deux exemples.

D'abord, regardons l'influence d'une meilleure résolution vidéo, en supposant que 10% du temps consacré à la vidéo en streaming le soit en 4K au lieu d'une résolution full HD. Il s'agit donc d'un film d'une heure trente par semaine. Le passage de full HD à 4K multiplie la quantité de données par un facteur 4 (ce facteur dépend des techniques de compression, et est probablement un peu surestimé). Les résultats sont donnés sur la figure suivante : l'intégralité de la diminution de la consommation à horizon 2030 est gommée par l'augmentation du débit, impliquant une consommation accrue des réseaux et des data centers¹⁰⁴.



¹⁰¹ Il s'agit ici d'usages émergents. Les usages non encore identifiés sont précisément ... inconnus !

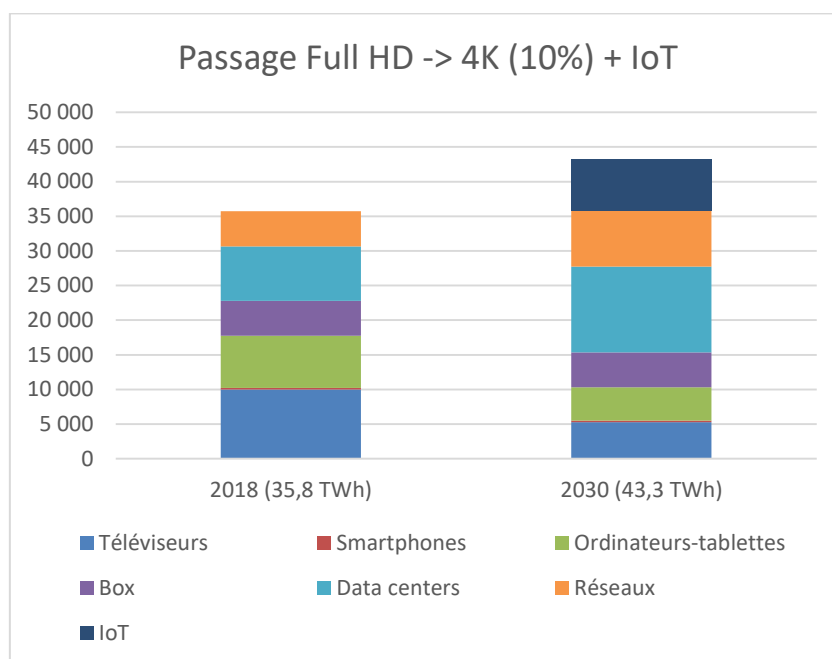
¹⁰² Le passage de la haute définition (HD) à la full HD représente un doublement du volume de données, le passage d'un full HD à 4K un quadruplement, le passage de la 4K à la 8K également un quadruplement. Donc la 8K utilise 32 fois plus de données que la haute définition.

¹⁰³ Equinix a de tels projets car l'implantation de data centers en Irlande n'est plus possible, précisément pour des questions de consommation électrique.

¹⁰⁴ Ce modèle permet de chiffrer le surcoût énergétique d'une heure de vidéo 4K supplémentaire par semaine pour toute la population de plus de 12 ans. Ce surcoût se décompose ainsi : Télévision (172 GWh) - Data centers (2 006 GWh) - Réseaux (1 302 GWh), soit un total 3 480 GWh sur l'année.

Les résultats sont identiques si on suppose que 10% des vidéos est regardée en 4K et 5% en 8K. Ces simulations montrent l'importance de l'impact énergétique de la vidéo en streaming. En particulier, les utilisateurs ne voient pas de manière directe cet impact, qui est avant tout concentré sur les réseaux et les data centers.

Regardons à présent ce qui se passerait par l'introduction de nouveaux usages par l'internet des objets. Nous nous fondons sur l'étude récente de l'AIE « Total Energy Model for Connected Devices » de février 2019. Cette étude montre que la part la plus importante en nombre d'objets correspond à l'automatisation, en particulier pour la domotique. Cette étude modélise la consommation d'énergie au niveau mondial. Pour obtenir une estimation France du surcroît de consommation entre 2018 et 2030, nous avons pris la part du PIB France dans le PIB monde. En ajoutant cette consommation à celle du diagramme précédent, nous obtenons :



Le chiffrage des deux « nouveaux » usages correspondant à la résolution des vidéos et les objets connectés transforme la *baisse* de la consommation de 11% en une *croissance* de la consommation de 21% entre 2018 et 2030.

En conclusion :

Ce sont les nouveaux usages qui détermineront la décroissance ou la croissance de consommation énergétique des dispositifs numériques à terme.

3.3 Les leviers d'action

3.3.1 L'écoconception

Les chiffres de croissance et de gains en efficacité énergétique que nous avons vus donnent une certaine impression de ressources qui deviennent infinies. Ceci pousse à ne tenir que peu compte de ces ressources au profit d'un développement plus rapide des applications et des usages. Cette approche, au-delà d'utiliser des ressources de manière irraisonnée, avec leurs impacts énergétiques et environnementaux associés, entretient la course aux nouveaux équipements qui deviennent plus rapidement obsolètes, car ils ne supportent plus ces applications gourmandes et nécessitent leur remplacement. Rappelons qu'un téléphone portable requiert 60 métaux différents, dont moins de 20

sont actuellement recyclables (... et ils ne sont pas nécessairement recyclés). *Il est nécessaire de promouvoir la réparation, la réparabilité et la modularité des équipements nouveaux, la mise à niveau et le réemploi des équipements anciens, tout autant que leur recyclabilité et leur recyclage effectif. Par ailleurs, les services numériques – c'est-à-dire l'ensemble des logiciels et matériels informatiques permettant de réserver un billet de train, d'afficher un cours de bourse, de comparer le prix d'un produit, etc. – doivent également être conçus de façon plus responsable.*¹⁰⁵

C'est ce qui a poussé Frédéric Bordage à créer dès 2004 la communauté GreenIT.fr, le Club GreenIT¹⁰⁶ et le Collectif Conception Numérique Responsable (@CNumR)¹⁰⁷. En 2011 est créée l'Alliance Green IT (AGIT)¹⁰⁸, regroupant les professionnels engagés pour un numérique responsable. A ce jour, l'alliance compte une quarantaine d'organisations membres. Ses missions sont de :

- fédérer les acteurs du Green IT,
- contribuer au débat public sur le numérique durable,
- promouvoir le développement des compétences,
- sensibiliser les parties prenantes, diffuser les bonnes pratiques et lutter contre le greenwashing,

et l'alliance contribue ainsi à :

- donner du poids au secteur du green IT grâce à un organe représentatif de la filière,
- aider les organisations (entreprises, collectivités, institutions) à passer à l'acte plus rapidement pour atteindre leurs objectifs en matière de développement durable.

L'alliance publie en février 2017 son livre blanc « l'écoconception des services numériques ». Il applique aux services numériques les techniques d'écoconception, méthodologie standardisée à l'échelle mondiale (ISO 14006 et ISO 14062). De nombreux exemples de réalisations sont disponibles dans ce livre blanc ainsi que sur le site GreenIT.

Citons deux réalisations concernant les matériels :

- Le nuage Telehouse certifié AFAQ écoconception en 2014 : partant d'une démarche d'analyse de cycle de vie, la consommation énergétique a pu être réduite de 50%, l'impact environnemental global (éco-toxicité, émission de polluants atmosphériques, ressources naturelles...) de 30%.
- Le Fairphone, téléphone réparable, fabriqué à partir de matières premières écoresponsables, la société Fairphone a été créée en 2013 et compte aujourd'hui 100 000 utilisateurs.

En ce qui concerne le logiciel, on lira avec intérêt le livre de F. Bordage « Ecoconception Web : les 115 bonnes pratiques – doper son site et réduire son empreinte écologique » (Eyrolles 2018).

Au-delà de ces exemples ponctuels, on peut juger de l'appropriation des pratiques d'écoconception logicielle et matérielles au moyen du « baromètre des pratiques GreenIT des entreprises en France », réalisé en 2015 et 2017 par l'AGIT. Les résultats montrent une réelle prise de conscience du Green IT par les entreprises, mais un long chemin reste à parcourir, ne serait-ce déjà qu'à la notion d'écolabel. En effet, 57% des entreprises répondent « je ne sais pas » à la question « utilisez-vous du matériel

¹⁰⁵ Iddri, FING, WWF France, GreenIT.fr (2018). *Livre blanc Numérique et Environnement* (P. 14).

¹⁰⁶ <http://club.greenit.fr>

¹⁰⁷ <http://collectif.greenit.fr>

¹⁰⁸ www.alliancegreenit.org

écolabellisé (TCO, EnergyStar, Blue Angel, EPEAT...) ? ». La figure suivante fournit un extrait des 27 indicateurs GreenIT avec leurs valeurs en 2015 et 2017.

Achat de matériels écolabellisés	24%	10%	↓
Prestataires ou fournisseurs issus du secteur de l'insertion et/ou du secteur protégé	11%	2%	↓
Intégration du Green IT dans la stratégie de l'entreprise	21%	24%	→
Déclinaison de la stratégie Green IT en plan d'actions	17%	9%	↓
Présence d'un responsable Green IT au sein de la structure	15%	20%	↑
Formation et/ou sensibilisation des collaborateurs aux gestes du Green IT	14%	88%	↑
Mesure de la consommation du parc de postes de travail	12%	6%	↓
Mise en place d'une politique d'économie d'énergie du système d'exploitation	10%	52%	↑
Mise en place d'une démarche d'écoconception logicielle	12%	30%	↑

4 LE CADRE REGLEMENTAIRE

On trouvera en annexe 12 une description des réglementations et normes concernant la consommation du numérique ainsi que les liens renvoyant aux normes et textes réglementaires.

4.1 Introduction

Dans le secteur très normalisé¹⁰⁹ du numérique qui a bien su prendre en compte l'économie de ressources rares comme les fréquences radio, la consommation énergétique n'a pas été traitée par la normalisation ou la réglementation, et ce encore moins que celle des appareils ménagers¹¹⁰ ; cependant, des efforts ont été réalisés par les fabricants de terminaux¹¹¹ pour en augmenter l'autonomie des mobiles, ce qui conduit à une baisse générale de la consommation de l'ensemble de ces terminaux. Ce n'est que récemment, avec la généralisation des usages du haut débit et du big data qui ont notamment entraîné la mise en place de gros data center, que certaines organisations comme le Shift Project ont alerté sur les effets « induits » en consommation ainsi que sur la prise en compte de l'énergie grise des terminaux.

Les réglementations et normes existantes sont présentées dans ce chapitre conformément à la structuration du rapport, à savoir la consommation locale, data center, réseaux d'opérateurs, terminaux, et la production.

4.2 Empreinte globale du numérique

En matière d'efficacité énergétique, les directives et règlements européens les plus récents¹¹², visent à une vision plus globale intégrant également les phases de production et de fin de vie (souvent désignée sous l'appellation ACV, analyse du cycle de vie) bien que pour la phase de production des appareils, les travaux sur l'ensemble du cycle se heurtent généralement à un manque de transparence des conditions réelles dans lesquelles cette phase est réalisée.

Donc, même si l'évaluation de l'empreinte liée à un type d'usage pouvait responsabiliser l'utilisateur, elle n'est pas totalement consensuelle et relève de plusieurs méthodes dont celles du Shift Project.

La phase de fin de vie ou de réutilisation liée à l'analyse de cycle de vie est plus aisée à réglementer puisque réalisée dans le lieu de consommation, ce sujet sera détaillé au §4. L'obligation de recyclage des équipements électriques et électroniques instituée dans les années 90 et la lutte contre l'obsolescence programmée ont contribué à ralentir le remplacement des terminaux¹¹³

¹⁰⁹ Notamment pour des raisons d'interopérabilité

¹¹⁰ Les derniers règlements sur la consommation et la réparabilité des appareils adoptés le 1 octobre 2019 mais non encore publiés par la Commission ne concerne que les téléviseurs et autres appareils ménagers, pas le numérique

¹¹¹ A noter que les appareils ménagers sont contraints d'afficher et d'évaluer leur consommation (étiquetage) mais que les ordinateurs et les mobiles n'ont pas aujourd'hui cette obligation

¹¹² ITU L.1450 sur l'empreinte du numérique ou famille des normes ISO 14000 sur les produits et services

¹¹³ Sachant que l'essentiel de l'empreinte d'un téléphone est dans la phase de production

4.3 Les data centers

La prise en compte de la consommation électrique dépend encore largement du type d'installation : elle peut être noyée dans d'autres frais pour des installations «internes», dont les exploitants privilégient le maintien en conditions opérationnelles, ou une source de coûts majeure pour les grands hébergeurs de stockage massif de données et de services, qui peuvent même faire de leur bonne efficacité un argument commercial pour contrebalancer les réserves sur la localisation des données.

En vue d'optimiser l'empreinte énergétique, sept indicateurs ont été développés par le consortium The Green Grid, dont les plus utilisés sont le PUE, indicateur d'efficacité énergétique¹¹⁴, qui donne le ratio entre l'énergie totale consommée par le data center et celle consommée par les systèmes informatiques sur un an et le CUE¹¹⁵, rapport entre la quantité totale de GES rejetée par le data center et la quantité d'énergie utilisée par les équipements informatiques (kgCO₂/kWh).

Au niveau européen, le CENELEC¹¹⁶ a publié en 2016 la norme EN 50600 qui couvre tout le cycle de vie du data center et propose des scénarios chiffrés de conception. En 2019, la Commission a mis en place le règlement UE 2019/424 sur l'écoconception des serveurs et produits de stockage de données. Il régit notamment la consommation d'énergie en utilisation et l'efficacité des ressources, les aspects liés à la réparabilité, à la réutilisabilité, à l'évolutivité et à la recyclabilité. Un projet de demande de normalisation sur ces sujets a été déposé auprès du CEN/CENELEC par la Commission européenne.

Enfin un règlement définissant des exigences obligatoires en matière d'efficacité énergétique (y compris pour l'efficacité minimale des sources d'alimentation internes) et d'efficacité matérielle (comme la possibilité de démonter certains composants) est en cours de préparation.

En France

En théorie, les data centers sont soumis au «décret rénovation tertiaire¹¹⁷» qui impose aux bâtiments de plus de 1000 m² une réduction de consommation par rapport à celle de 2010 ainsi qu'à l'obligation de gestion active des bâtiments. Mais ces obligations sont en général en deçà des pratiques courantes ou non appropriées. Les data center font également depuis 2019 l'objet de mesures d'accompagnement spécifiques comme la réduction de 22 à 12€ de la TICFE¹¹⁸.

4.4 Les réseaux

En dehors des difficultés éventuelles d'alimentation d'équipements de réseau isolés qui ont pu pousser à la frugalité, jusqu'à la 4G, la question de l'énergie n'a pas été traitée par la normalisation. Les

¹¹⁴ défini par la norme ISO/IEC 30134-2 JTC1/SC39

¹¹⁵ Carbon Usage Effectiveness qui fait l'objet d'un projet de norme (ISO/IEC CD 30134-8 Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 8: Carbon Usage Effectiveness), actuellement au stade DIS

¹¹⁶ Comité européen de Normalisation en Électronique et en Électrotechnique

¹¹⁷ Qui précise les modalités d'application de l'article 55 de la loi ÉLAN (Évolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique) modifiant l'article L.11-10-3 du code de la construction qui impose une réduction de la consommation énergétique du parc tertiaire français :40% en 2030, -50% en 2040 et -60% en 2050 par rapport à la consommation de 2010.

¹¹⁸ Taxe Intérieure sur la Consommation Finale d'Electricité

opérateurs utilisent cependant quelques indicateurs comme la consommation en Watt par usage pour les sites hors antennes et la consommation en kWh par GO pour les antennes.

Selon Ericsson, la 5G devrait diviser la consommation d'énergie par un facteur 10 par rapport au réseau 4G/LTE pour un débit donné.

Cas particulier des décodeurs

Leur consommation (comparable à celle d'un réfrigérateur) à la charge du consommateur n'incite pas directement les opérateurs qui les fournissent à accomplir les efforts même modestes pour maîtriser cette consommation devenue significative.

La Commission a suscité un accord volontaire en 2012 pour les décodeurs numériques complexes dont la consommation augmente avec les fonctions et ne sont pas toujours arrêtés ou mis en veille. Si les objectifs de réduction ne sont pas remplis, cet accord pourrait être remplacé par un règlement.

4.5 Les terminaux (Utilisation et production)

Au-delà des réglementations spécifiques pour

- les téléviseurs et les écrans via les règlements 642/2009 et 1062/2010 sur les aspects énergétiques et l'affichage d'informations,
- les ordinateurs dont le règlement 617/2013 est en cours de révision,
- les sources d'alimentation externe via le règlement 278/2009 relatif à la consommation d'électricité hors charge et à leur rendement moyen en mode actif,

les terminaux sont concernés par la directive «écoconception» ou «ecodesign» de 2009 qui fixe un cadre de performances énergétiques à des groupes de produits, soit dans le cadre d'engagements volontaires, soit via un règlement.

Par ailleurs, les terminaux comme les décodeurs évoqués au § 4.4 sont concernés par le Règlement (UE) 801/2013 sur les modes veilles qui vise à réduire de 75% la consommation des veilles d'ici 2020. Il est proposé dans les recommandations d'actualiser ce règlement notamment pour les décodeurs.

Plusieurs démarches d'écolabels ont été également mises en place :

- Les écolabels de type I, dits « officiels » délivrés sous la responsabilité des pouvoirs publics et encadrés par la norme ISO 14 024. Ils respectent plusieurs critères en termes d'exigence des seuils de performance, de processus d'élaboration (concertation), de certification (par un organisme indépendant) et de périmètre couvert (approche cycle de vie global). Les plus connus sont l'écolabel européen, NF Environnement, le Blue Angel, l'Energy Star pour l'efficacité énergétique des produits ou encore le TCO qui prend en compte l'environnement et la santé humaine ;
- Les écolabels de type II qui correspondent à des auto-déclarations environnementales et relèvent de la norme ISO 14 021. Les critères définis et leur attribution dépendent des groupes d'intérêt (ONG, filières industrielles ou commerciales) qui les conçoivent. Ainsi le standard ECMA-370 (12) spécifie un ensemble de caractéristiques environnementales et de méthodes de mesure pour aider les constructeurs de TIC à établir leurs auto-déclarations.
- Enfin, la norme ISO 14 025 encadre la création des écolabels de type III dit « écoprofiles ». Ils résultent d'ACV et ont pour vocation d'aider à la comparaison de produits bien que leur caractère très technique ne facilite pas l'appréciation des qualités environnementales des produits.

Au-delà de la stricte consommation d'énergie, l'introduction de sources intermittentes d'électricité conduit à poser le problème des appels de puissance et du pilotage de la demande sous le label «smart».

Une étude préparatoire sur les appareils intelligents (Ecodesign Preparatory Study on Smart Appliances) est en cours depuis 2014 sous le nom de « Lot 33 » afin d'analyser les aspects techniques, économiques et sociaux d'une large diffusion de ces appareils. Cette étude pourrait conduire à la création d'un logo « energy smart » (en complément des étiquettes énergie). Ce nouveau logo permettrait de définir la capacité des appareils à recevoir des signaux d'effacement pour satisfaire une exigence de flexibilité plutôt que de frugalité.

Harmonisation des chargeurs :

Au-delà de la consommation électrique, en 2009, la Commission a cherché à harmoniser les chargeurs afin d'en diminuer le nombre ; en 2009, un premier protocole d'entente volontaire signé, avec les fabricants de téléphones préconisait l'utilisation de chargeurs à port USB-A dit standard et de smartphones à port micro-USB. Avec l'arrivée d'une nouvelle solution USB-C, plus performante, la CE a donc lancé une nouvelle campagne. Sept fabricants de smartphones se sont engagés à ce que d'ici 2021, leurs nouveaux smartphones soient « rechargeables par un connecteur USB-C ». Il faut cependant noter que le protocole d'entente n'est pas abouti dans la mesure où il ne spécifie pas le type de connexion de l'autre côté du câble.

4.6 Réutilisation et recyclage :

4.6.1 Favoriser la réparation et la réutilisation : réglementation sur l'obsolescence programmée

L'article L. 213-4-1.-I. du code de la consommation définit l'obsolescence programmée¹¹⁹ comme « l'ensemble des techniques par lesquelles un metteur sur le marché vise à réduire délibérément la durée de vie d'un produit pour en augmenter le taux de remplacement ».

La réglementation en matière d'obsolescence programmée s'applique à travers :

- le refus de l'inaltérabilité des batteries qui a fait l'objet d'une directive européenne (2006/66/EC art11) retranscrite en droit français par un décret du 10 juillet 2015.
- L'obligation d'information sur la disponibilité des pièces détachées (article L. 111-4 du code de la consommation).

4.6.2 Limiter les ressources consommées : loi sur l'économie circulaire

Le projet de loi relatif à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire est en cours de discussion au Parlement. Il s'articule autour de quatre grandes orientations :

- mettre fin au gaspillage pour préserver les ressources naturelles,
- mobiliser les industriels pour transformer les modes de production,
- renforcer l'information du consommateur
- et améliorer la collecte des déchets.

Les principales dispositions concernant le numérique sont les suivantes :

¹¹⁹Cette infraction constitue un délit au regard de la loi française 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

- ② Création d'un article L. 541-9-1 du code de l'environnement qui impose aux producteurs et importateurs de produits générateurs de déchets d'informer les consommateurs sur les qualités et caractéristiques environnementales de ces produits par voie de marquage ou d'étiquetage (incorporation de matière recyclée, emploi de ressources renouvelables, durabilité, réparabilité, possibilités de réemploi, recyclabilité, présence de substances dangereuses).
- ② Création d'un article L. 541-9-2 du code de l'environnement qui impose à partir de 2021 aux fabricants d'équipements d'informer les consommateurs sur la réparabilité des équipements. Cette information prendrait la forme d'un indice de réparabilité par voie de marquage ou d'étiquetage sur le modèle du modèle de l'étiquette énergie. Cette information est élaborée sur la base d'un référentiel de l'ADEME.
- ② Modification de l'article L. 111-4 du code de la consommation en réduisant le délai de fourniture des pièces détachées par les vendeurs de 2 mois à 20 jours. Les professionnels qui proposent des prestations d'entretien et de réparation des équipements devront proposer au consommateur d'opter pour l'utilisation de pièces de rechanges issues de l'économie circulaire au lieu de pièces neuves.
- ② Modification de l'article L. 541-9 du code de l'environnement qui subordonne la mise sur le marché de certains produits et matériaux au respect d'un taux minimal d'incorporation de matière recyclée.

5 RECOMMANDATIONS

5.1 Un corpus de données à établir

La mission a pu constater la difficulté à travailler sur le sujet de l'impact du numérique dans un contexte où les données sont publiées chez certains acteurs et pas chez d'autres, où leurs définitions varient, et où les valeurs elles-mêmes pour une même catégorie d'équipements diffèrent suivant les sources. Ces problèmes entachent les estimations d'une incertitude élevée, sans parler de leur évolution, et rendent l'exercice très lourd et consommateur en temps. Au niveau France, il y a en moyenne une étude tous les 3 ou 4 ans et comme les estimations viennent de services différents, parfois d'assiettes différentes, elles sont difficilement comparables.

Sans vouloir créer une entité nouvelle, probablement peu réaliste dans le contexte budgétaire actuel, la mission estime indispensable de mettre en place une organisation qui permette de disposer d'un certain nombre de données fournies de manière régulière par les mêmes acteurs.

Il s'agit de normaliser les données pertinentes qu'un certain nombre d'acteurs devront fournir dans leurs bilans RSE (recommandation 1).

Pour ce faire, il convient que les entreprises aient des valeurs de référence pour calculer leur impact du numérique en particulier pour les matériels et services achetés (cf. recommandation 2), ce qui pourrait être fait par une actualisation des données de l'Ademe sur le sujet : si les entreprises disposent de valeurs par elles mêmes, comme c'est souvent le cas pour leur parc d'équipement ou leur consommation d'électricité, elles peuvent les utiliser, mais à défaut elles devraient pouvoir utiliser des valeurs types fournies par l'Ademe, ce qui sera souvent le cas pour l'impact CO₂ de la production et de l'usage des produits. Les données pertinentes à recueillir devraient être en fonction des grands secteurs d'activité, avec au minimum les acteurs du numérique, à savoir les opérateurs de communications électroniques, les hébergeurs d'infrastructures informatiques, les offreurs de services Cloud et les opérateurs de plateformes numériques, avec mention des données relatives aux infrastructures utilisées en France.

Recommandation n° 1. Définir et publier (Ademe en lien avec l'Arcep) un corpus de données minimales communes (parc d'équipements et de services numériques) par secteur économique à faire figurer dans les bilans RSE des entreprises.

Recommandation n° 2. Actualisation par l'Ademe, tous les deux ans, du guide des facteurs d'émission des principaux produits TIC.

Pour les opérateurs de communications électroniques, l'Arcep est la mieux placée pour obtenir des données (qui sont parfois confidentielles) de la part des opérateurs. Elle devrait donc être en mesure de recueillir ces informations, les consolider et publier leurs valeurs cumulées. Un tel suivi pourrait même permettre à l'Arcep de mesurer la performance écologique (à assiettes et conditions égales) de chaque opérateur et décerner des notes de performance écologique sans nécessairement publier leurs données confidentielles.

Recommandation n° 3. Publication par l'Arcep, tous les deux ans, de la consommation des opérateurs de communication électroniques et de leur bilan carbone consolidés à l'échelle de la France.

Nota : la recommandation n°3 est associée à la recommandation 1.

Dès lors que l'ensemble de ces données seront disponibles sous un format uniformisé, leur collationnement devrait être relativement facile, et un organisme comme le CGDD (ou l'Ademe) devrait pouvoir en faire la synthèse avec une périodicité de 2 ans environ, et la publier. En outre, comme on le constate avec le baromètre du numérique qui s'efforce de poser les mêmes questions chaque année pour avoir des séries historiques, l'agrégation de données homogènes permettra de mettre en évidence les variations sur des segments distincts (par exemple par secteur d'activité, par type de produit, sur l'usage ou sur la production...). Les bonnes pratiques pourraient être encouragées.

Recommandation n° 4. Editer tous les deux ans un baromètre de la consommation énergétique et l'impact environnemental du numérique (usage et production) par le CGDD (ou l'Ademe).

5.2 Sensibilisation et information des usagers

Une politique durable peut se concevoir par la réglementation (interdire ou taxer l'usage de certains produits ou services) ou par l'action de tous les jours des citoyens pour réduire leur impact écologique. La première option peut s'appliquer pour de grosses entreprises (cimenteries, production d'électricité, usines SEVESO...) mais est difficile d'emploi pour des équipements ou services très évolutifs comme le sont les TIC. On peut en revanche profiter du fait que les citoyens sont de plus en plus sensibilisés au problème du réchauffement climatique pour les inciter à avoir un comportement durable. Et comme, hormis pour quelques cas évidents comme les transports, ils ne mesurent pas ce que coûte leurs actions, il convient de mieux les informer.

Une première piste consiste à afficher la consommation et l'énergie grise des matériels TIC achetés (ou mis à disposition dans le cadre d'abonnements). La seule bonne volonté des constructeurs pour se différencier écologiquement en affichant leurs valeurs semble insuffisante et la mission estime nécessaire une réglementation pour rendre obligatoire l'affichage énergétique des produits. Le niveau européen est le plus adapté compte tenu des règles européennes de libre circulation des biens.

Un travail préalable de normalisation est nécessaire pour définir les valeurs à afficher et les méthodes de calcul. L'Afnor pourrait proposer la création d'un groupe de travail CEN/ CENELEC sur le sujet, avec un groupe miroir au niveau français, pour mieux faire valoir les intérêts français liés à son électricité faiblement carbonée. La méthode reste à définir en partenariat avec les industriels concernés, pour afficher la consommation électrique et l'impact production, avec des valeurs moyennes par défaut lorsque le constructeur ne sait pas justifier ses propres valeurs sur la base d'un audit certifié.

Le type d'information fournie est également à débattre : kWh, kg CO₂, euros ou étiquettes ABCDE ?

Recommandation n° 5. Mandater l'AFNOR pour impulser la création d'un groupe de normalisation européen visant à définir les normes de calcul de la consommation électrique et de l'énergie grise des matériels informatiques. Rendre ensuite obligatoire l'étiquetage énergétique des matériels informatiques.

Un autre type de sensibilisation reste le critère financier, par exemple par une taxe CO₂ sur les produits. Des discussions sont en cours sur une taxe CO₂ aux frontières mais elles nécessitent un accord européen. Ce pourrait être une seconde étape, mais elle ne peut se mettre en place qu'après qu'un certain consensus se soit établi pour reconnaître que tel ou tel produit fabriqué à l'autre bout du monde a nécessité telle émission de CO₂.

Au-delà du règlement sur les veilles, l'arrêt des matériels reste la solution la plus efficace pour réduire la consommation électrique. Par exemple, mettre la box (ADSL, fibre, décodeur TV), le téléviseur, la chaîne HiFi sur une même prise électrique qu'on débranche tous les soirs ou lorsqu'on part en vacances permet d'économiser environ 100 kWh par an et une quinzaine d'euros par foyer. L'intérêt est plus fort en été où ces équipements contribuent à chauffer la pièce, voire à surconsommer en climatisation (double peine). A contrario, l'intérêt est moindre en hiver, en période de chauffage.

Recommandation n° 6. Mettre en place une communication grand public (ADEME) notamment sur l'intérêt d'arrêter ou débrancher les équipements lors de périodes prolongées d'inutilisation, et de réduire des usages très énergivores (vidéos en 4K et 8K, IoT, jeux en ligne...). En particulier développer chez les utilisateurs le réflexe de savoir si les équipements qu'ils acquièrent (IoT...) vont de pair avec le développement durable.

Les précédents chapitres ont mis en évidence l'accroissement régulier et exponentiel du trafic. Comme le montre le Shift project et malgré les progrès techniques, cette croissance n'est pas soutenable à long terme. On doit donc se poser la question de l'intérêt de nouveaux usages au regard de la consommation de TIC qu'ils imposent. On peut rappeler un certain nombre de projets gourmands :

- Le véhicule autonome et connecté est susceptible de générer un flux continu de plusieurs Mb/s sur des millions de véhicules (donc plusieurs millions de To/an),
- le développement des objets connectés, notamment des caméras vidéo de télésurveillance qui filment en permanence
- grâce à sa faible latence, la 5G rendra possibles en ligne certains jeux d'agilité qui ne peuvent aujourd'hui être réalisés qu'en local. Mais ces jeux sont très consommateurs de bande passante et on peut donc s'interroger sur le surcout sociétal de ces nouveaux usages, et sur leur subvention indirecte par des forfaits illimités (péréquations financières entre forts et faibles consommateurs) ;
- les progrès techniques ont permis de mieux réduire les débits vidéo à qualité égale. Mais, plutôt que de réduire les débits, les constructeurs promeuvent des usages plus consommateurs (HD, 4K, 8K et écrans plus grands pour la télévision) qui au final font plus qu'annuler les gains techniques. Il convient d'être prudents sur ces évolutions qui, outre l'accroissement des débits, conduisent à l'importation accrue de matériels dont la fabrication

a été lourde en émissions de CO₂. L'effet de mode sur le sujet doit être combattu quand on sait qu'il n'est pas possible de voir la différence entre de la SD et de la HD (sans parler de la 4K ou 8K) avec un écran de moins d'un mètre de diamètre. L'ajustement de la qualité vidéo à la taille du terminal (qui est en principe réalisé) doit être poursuivi.

5.3 *Ecoconception des matériels, logiciels et services*

Nous avons vu que plus de la moitié de l'empreinte carbone du numérique est due aux équipements. Ainsi, accroître leur durée de vie permet de réduire cette empreinte. Même si les anciens équipements sont plus énergivores à l'usage que les nouveaux qui bénéficient des dernières innovations, les simulations en annexe 8 montrent que l'on perd peu. Les mesures suivantes permettent de rallonger la durée de vie des équipements tout en conservant leurs performances.

En premier lieu, il est nécessaire de promouvoir leur réparabilité et leur reconditionnement.

Recommandation n° 7. Imposer au niveau européen des équipements réparables, en particulier avec des batteries normalisées et échangeables et promouvoir la filière du reconditionnement.

L'une des sources de changement d'équipement est le fait qu'ils ne sont plus dimensionnés pour les nouvelles applications, souvent développées de manière gourmande, et affichent alors de mauvaises performances, insupportables pour l'utilisateur.

Recommandation n° 8. Responsabiliser indirectement les utilisateurs sur la consommation qu'ils engendrent : obliger les éditeurs de logiciel à obtenir l'accord des utilisateurs pour le téléchargement de mises à jour, et à préciser préalablement le volume impliqué et la finalité de la mise à jour, distinguant les mises à jour évolutives et correctives.

Recommandation n° 9. Encourager (Arcep) les forfaits à consommation limitée, y compris sur le fixe, afin d'éviter une subvention indirecte des utilisateurs à fort trafic par l'ensemble des usagers.

Dans la même lignée, de nombreuses applications utilisent plus de ressources que nécessaire, c'est-à-dire proposent des fonctionnalités non directement dans l'objet de l'application. Néanmoins, le recours à des modes moins énergivores (par exemple débit ajusté au terminal, mise en veille et retour en fonctionnement plus rapides, ...) nécessitent des normes communes entre acteurs et ne seront possibles qu'avec des protocoles normalisés qu'il convient de définir. Par exemple, pour les box, un retour en fonctionnement plus rapide, analogue à l'alternateur-démarrateur des véhicules, permettrait d'économiser 0,5 TWh, soit 10% de leur consommation.

Recommandation n° 10. Demander aux opérateurs de communications électroniques de définir des protocoles de communication sobres et normalisés, permettant d'adapter le trafic au besoin réel de l'utilisateur.

De nombreux équipements fonctionnent en permanence, tels les box, et leurs modes de veille ne sont pas satisfaisants, soit parce que la différence entre le fonctionnement en marche et en veille ne génère que peu d'économie, soit parce que le passage du mode veille (voire éteint) au mode opérationnel prend trop de temps. Or on peut imaginer couper ces équipements lorsque l'on est absent de son domicile et les remettre en route au retour (et non pas au moment où on décide de les utiliser), mais un mode performant de veille profonde doit également être possible. Une initiative visant à actualiser le règlement européen de 2013 sur les veilles serait utile : les nouvelles exigences devraient aussi s'appliquer aux box ADSL/ Fibre et aux décodeurs TV. Une baisse de près de 20% pourrait être atteinte par une consommation allégée en mode veille.

Recommandation n° 11. Rendre obligatoire au niveau européen des modes de veille performants et fluides pour l'utilisateur en particulier pour les box [DGE/ ARCEP].

En ce qui concerne les équipements, il est souhaitable d'éviter leur redondance. Ainsi, la première tentative de normalisation des chargeurs n'est toujours pas opérationnelle. Il serait ainsi envisageable de dissocier la vente des smartphones de celle des chargeurs, éventuellement en ne fournissant que le câble USB.

Recommandation n° 12. Relancer l'initiative européenne sur le modèle unique de chargeurs.

5.4 Un Etat exemplaire

La consommation du numérique concerne directement de nombreux ministères :

- le secteur économique et numérique (MEF)
- le secteur de l'énergie (MTES)
- le secteur de l'éducation/formation (MEN-MESRI) pour la sensibilisation et la formation aux métiers « Green Tech »
- les hôpitaux (Ministère de la santé), etc.

Il s'agit ici de gérer le parc des équipements, incluant les data centers directement mis en œuvre par les ministères et d'assurer la sobriété des services publics en ligne (généralisation de l'écoconception – partie réglementaire incluse -, poids des pages et des traitements).

L'Etat se doit d'être un exemple à suivre en promouvant l'optimisation énergétique du numérique partout où c'est de sa responsabilité, qu'il s'agisse des politiques d'achat, des usages ou des services proposés. Ainsi, chaque ministère devrait, en coordination avec la DNUM :

Recommandation n° 13. Intégrer l'efficacité énergétique et l'impact environnemental dans les politiques d'achat (critères utilisés dans appels d'offres publics) et dans l'utilisation des équipements numériques de l'Etat et les futurs projets numériques. Afficher la consommation énergétique des produits numériques dans les catalogues d'achat public. Pour cela, diffuser plus largement les notes pédagogiques de l'ADEME & communiquer sur les usages numériques responsables. Demander à l'ADEME de réaliser des guides de bonnes pratiques à destination des acheteurs publics et privés.

La mission a constaté de grandes disparités entre les pages d'accueil de différents sites. Certaines font moins d'un Mo (impots.gouv.fr, google.fr) tandis que d'autres sont entre une demi-douzaine et une douzaine de Mo (Douanes, Le Figaro, Mairie de Paris).

Recommandation n° 14. Imposer la sobriété énergétique aux services publics dématérialisés, avec, entre autres, des pages réduites.

Recommandation n° 15. Limiter le renouvellement des équipements numériques (ordinateurs, smartphones) grâce à la mise à disposition des éléments logiciels spécifiques (ex. navigateur, OS, BIOS), par exemple pendant 5 ans (smartphones) et 10 ans (ordinateurs) à compter de la fin de leur commercialisation.

Recommandation n° 16. Automatiser l'extinction du poste de travail & imprimantes (rentable pour les parcs de plus de 1000 postes) ou utiliser un outil de gestion centralisée de l'extinction des PC, voire la coupure électrique le soir et le week-end.

Les ministères chargés de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur devraient par ailleurs introduire des modules de formations professionnelles aux métiers « Green IT » par exemple pour écoconcevoir des services numériques, ou reconditionner des matériels informatiques.

Recommandation n° 17. Introduire des modules de formation aux métiers « Green IT » dans l'enseignement supérieur.

Recommandation n° 18. Renforcer et coordonner davantage les recherches des écoles sous tutelle du CGE dans le domaine de l'optimisation énergétique du numérique par la Direction scientifique de l'IMT.

Dans le cadre des appels d'offre de l'ANR, ou de l'ADEME, des projets de R&D devraient être suscités pour réduire la consommation énergétique des TIC : des solutions logicielles par exemple peuvent contribuer à rendre les data centers, les smartphones, ou les relais télécoms moins énergivores, ou à permettre des traitements locaux des données. L'internet des objets se développe de manière rapide, par la mise sur le marché de nouveaux équipements pour de nouveaux usages, en particulier dans le domaine de l'automatisation (par exemple pour la domotique) ou de la sécurité. La conception des nouveaux dispositifs est en cours et devrait s'appuyer sur des principes de sobriété.

Recommandation n° 19. Focaliser des appels d'offres de l'ANR, l'ADEME et des outils de la BPI sur la réduction de la consommation énergétique du numérique, notamment sur les nouveaux usages (Internet des objets, sécurité...).

Les recommandations 13 à 19, qui s'appliquent à l'administration, se doivent d'être mises en œuvre dans les entreprises publiques et décrites dans leurs bilans RSE.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de mission

 Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE	
 CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ÉCONOMIE DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉNERGIE ET DES TECHNOLOGIES	Paris, le 10 FEV. 2019
TELEDOC 792 BATIMENT NECKER 120, RUE DE BERCY 75572 PARIS CEDEX 12	Le Vice-président à
Affaire suivie par : Benoît LEGAIT Téléphone : 01 53 18 54 71 Télécopie : 01 53 18 57 15 Mél : benoit.legait@finances.gouv.fr Dossier N°	Mireille CAMPANA Jean CUEUGNIET Michel SCHMITT Cédric SIBEN Ingénieurs généraux des mines
479	
Objet : Thème d'approfondissement de la section Technologie et Société : réduire la consommation énergétique du numérique La transition numérique provoque une forte augmentation de l'empreinte énergétique directe du numérique, qui progresse d'environ 9% par an. Le digital représenterait de l'ordre de 2,7% de la consommation d'énergie mondiale en 2017. L'engouement pour les smartphones, l'explosion du trafic (notamment des vidéos et du streaming) et du stockage des données, la multiplication des périphériques et des objets connectés, l'utilisation de la technologie « blockchain » figurent parmi les principales explications de ce phénomène. Les profils de consommation numérique sont très hétérogènes. Là où un Américain possède en moyenne 10 terminaux numériques connectés et de nombreux autres objets numériques (140 Gigaoctets de données consommées par mois), un Indien n'en possède qu'un et consomme 70 fois moins de données. La dépense énergétique liée au numérique est ainsi, à l'heure actuelle, surtout concentrée dans les pays développés, mais se développe rapidement partout. 1. Vous quantifierez la consommation énergétique des ordinateurs, des smartphones, des objets connectés, des « data centers », des équipements de réseaux, de l'informatique embarquée, en analysant les travaux existants, et leurs hypothèses. Vous examinerez la croissance passée et prévisible d'utilisation et de consommation énergétique de ces outils numériques. Vous comparerez l'incidence énergétique d'un même travail effectué soit sur le cloud soit en local. Vous identifierez les usages les plus consommateurs (en consommation directe sur le terminal et induite dans les réseaux et systèmes) comme les jeux en réseaux, la vidéo en streaming, la multidiffusion, etc. Vous mènerez aussi une analyse de cycle de vie des différents dispositifs et de leur maintenance.	
 MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE ET DES FINANCES	

2. Vous formulerez des recommandations pour réduire les principaux postes de consommation énergétique du numérique. Les pistes suivantes pourront notamment être examinées : limiter le volume des données échangées notamment via le choix de protocoles de diffusion, choisir des composants plus sobres énergétiquement, améliorer l'efficacité des logiciels mis sur le marché, sensibiliser le grand public à un usage sobre du numérique, valoriser la chaleur produite, examiner à « l'aune énergétique » les divers modèles d'affaires des projets de numérisation. Vous pourrez également examiner si les externalités sont globalement raisonnablement facturées aux utilisateurs générant la consommation électrique (prix de l'énergie, empreinte carbone, ...)
3. Il conviendra d'analyser comment ces mesures pourraient être accueillies puis mises en œuvre et quelle devrait être l'action de l'Etat pour y parvenir.

Sur proposition du président de la section Technologie et Société, je vous désigne, rapporteurs de cette mission.

En termes de méthode :

- vous prendrez l'attache des administrations concernées (DGEC, DGE, DINSIC, CGDD...) et de leurs agences (ADEME, INRIA...), d'acteurs privés, d'associations et de chercheurs ;
- vous formulerez des propositions concrètes et opérationnelles à destination des ministres chargés de l'économie et du numérique, en mettant l'accent sur les outils à la disposition de la puissance publique ;
- vous veillerez à que ce sujet soit abordé régulièrement lors des réunions de section.

Vos conclusions sont attendues pour le 15 décembre 2019 avec une note d'étape le 20 juin 2019.



Luc ROUSSEAU

Copie : M. le président de la section Technologie et Société

Annexe 2 : Liste des acronymes utilisés

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFNOR	Agence française de normalisation
AIE	Agence internationale de l'énergie
ARCEP	Autorité de régulation des communications électronique et des Postes
CEREN	Centre d'études et de recherche économique sur l'énergie
CGE	Conseil général de l'Economie
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CGTI	Conseil général des technologies de l'information
CPL	Courant porteur en ligne
CSA	Conseil supérieur de l'audiovisuel
DC	Abréviation de Data center
DGEC	Direction Générale Energie Climat (Ministère de la Transition écologique et solidaire)
ETTD	Equipement terminal de transmission de données
GfK	Gesellschaft für Konsumforschung
HPC	High Performance Computer
ICT	Information and communication technology (cf TIC en français)
IoT	Internet des objets (Internet of things)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OCE	Opérateur de communication électronique
PUE	Power Use effectiveness (Data centers)
RSE	Responsabilité sociale d'entreprise
RTE	Réseau de Transport d'électricité
SESSI	Service des études et des statistiques industrielles
Telco	Opérateur de communication électronique (cf OCE)
TIC	Technologies de l'information et de la Communication
TPE	Très petites entreprises
Wh	Wattheure => TeraWattheure (TWh), GigaWattheure (GWh), ...

Annexe 3 : Liste des personnes rencontrées ou interrogées

Organismes publics et parapublics

Direction Générale des Entreprises

- CLAUDE Helicia : Chargée de mission Blockchain
- MANIA Hugo : Chargé de mission Cloud & Data center

DINSIC

- MERLE Alain : Directeur du programme « transformation des centres informatiques »

ARCEP

- GABLA Emmanuel : Membre du collège
- LHERMITTE Stéphane : Directeur Economie, marchés et numérique
- TOUBIANA Vincent : Chargé de mission unité analyse économique et intelligence numérique

DGEC

- DOZIERES Alexandre : Chef du bureau Economies d’Energie et Chaleur Renouvelable
- LEGOUPIL Théophile : Chargé de mission Efficacité énergétique des produits

IMT Lille-Douai

- GILLE David : Direction Informatique et Systèmes d’Information, adjoint, responsable du pôle infrastructures, systèmes et réseaux.

Télécom ParisTech

- MEMMI Gérard : professeur et responsable du Département « informatique et réseaux »

Assemblée Nationale

- FORTEZA Paula : députée de la deuxième circonscription des Français de l'étranger

Organisation professionnelles

Association NEGAWATT

- TOULOUSE Edouard

ADEME

- LEFEUVRE Katia, Directrice de Cabinet du Président
- MORICE Laurent, Cellule Stratégie Numérique
- GUILLOUZIC Philippe, Cellule Stratégie Numérique
- LEFEBVRE Hervé, Chef du Service Climat
- GUASTAVI Raphaël, Chef de service adjoint Produits et Efficacité Matière

Syntec numérique

- MATHIEUX Boris, Délégué du collège Editeurs
- POULAIN Lauranne, Chargée des relations institutionnelles

GreenIT

- BORDAGE Frédéric : Fondateur et animateur de greenIT.fr

The Shift Project

- FERREBOEUF Hugues : Directeur du groupe de travail « Lean ICT : pour une sobriété numérique »

LA FACE CACHEE DU NUMERIQUE

- FLIPO Fabrice : maître de conférences à Télécom École de Management

AIE

- KAMIYA George : Coordinator of IEA's work on digitalization, tracking clean energy progress, and automated and shared mobility

France DATACENTER & GIMELEC

- COTTET Guilhem : Délégué général de France Datacenter

CEREN

- DUPONT Françoise : Directrice du Ceren
- KATZ Jean-Yves : Directeur du développement
- MBENA Nicole

Entreprises**HPE**

- POISSON GOUYOU BEAUCHAMPS Xavier : vice-président worldwide service providers business

OVH

- SCHMUTZ Alban : vice-président d'OVH, chargé du développement stratégique et président de la commission Affaires publiques d'EuroCloud France, Président de CISPE

ORANGE

- MARZOUG Mongi : Directeur gouvernance de l'internet et des énergies renouvelables
- MALLET Hervé : Directeur énergie

MicroSoft

- CASTRO Alfonso : Directeur de la stratégie cloud, Microsoft France

Annexe 4 : Consommation 2018 estimée à partir des usages

Le Shift Project a publié une étude¹²⁰ où il estime l'énergie nécessaire pour envoyer un mail avec une pièce jointe de 1 Mo, ainsi que pour regarder une vidéo d'une durée de 10 minutes, tout ceci, à partir des données 2018, au niveau mondial.

Nous allons adopter cette méthodologie, au niveau France pour estimer la consommation électrique globale du numérique.

Selon The Shift Project, les consommations énergétiques sont les suivantes :

- 7,2 10⁻¹¹ kWh/byte pour les Data Centers
- 4,3 10⁻¹⁰ kWh/byte pour le réseau filaire
- 1,5 10⁻¹⁰ kWh/byte pour le réseau wifi
- 8,8 10⁻¹⁰ kWh/byte pour le réseau mobile
- 1,1 10⁻⁴ kWh/min pour l'utilisation d'un smartphone
- 3,2 10⁻⁴ kWh/min pour l'utilisation d'un laptop

Une minute de vidéo correspond à 20 Mo.

Si l'on reprend ces chiffres (monde) avec les usages en France (Arcep, baromètre du numérique) :

- 29,1 millions d'abonnements au haut débit
- 59,5 millions de cartes sim actives
- 3,65 EB de trafic descendant mobile
- Visionnage d'une vidéo en streaming par jour d'une durée de 1h30
- Utilisation quotidienne de 3h de smartphone et 3h de laptop
- La moitié du trafic descendant sur les réseaux est de la vidéo
- Le trafic se répartit pour moitié entre réseau filaire et réseau wifi

on obtient :

En TWh	Estimation par The Shift Project	Estimation mission à partir du parc installé
Data Centers	2,75	4,72
Réseau filaire	6,12	
Réseau Wifi	2,13	
Réseau mobile	3,21	
Total réseaux (incluant les box)	11,46	3,31 + 3,8 + 0,84 = 7,95
Smartphone	0,43	0,26
Laptop	1,25	7,18
Total général	15,89	20,11

On notera que la somme des consommations des infrastructures (data centers et réseaux) est du même ordre (14,21 TWh contre 12,67 TWh). La répartition entre Data centers et réseau est différente et correspond à des définitions différentes dans les deux cas. On le voit en particulier sur l'affectation de la box, qui n'est pas claire dans le cas du Shift Project. La grande différence se situe au niveau des ordinateurs, là encore pour des questions de périmètres et de durée d'utilisation (bien supérieure à 3h en entreprise).

¹²⁰« Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne » : <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>

Annexe 5 : Quelques valeurs de consommation électriques et d'ACV issues de l'Ademe

Sources : Guide sectoriel 2012, Base Carbone Version 11.0 de nov 2014,

Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et bien d'équipement, sept 2018)

1. Contenu CO₂ du kWh électrique

Usage	Combustion seule (Scope 2)	Amont des combustibles (inclus enrichissement) et transports / distribution (Scope 3)	FE électricité "complet"
Moyenne	55	26	81
Chauffage	181	32	213
Résidentiel : ECS	42	16	58
Résidentiel : Eclairage résidentiel	93	22	115
Résidentiel : Lavage, froid, bruns, gris	42	17	59
Résidentiel : Cuisson	57	18	75
Eclairage public et industriel	72	20	92
Industrie	34	15	49
Transport	33	16	49
Autres (tertiaire, agriculture...)	34	16	50

FE de l'électricité pour la France pour 2013 - Application Norme ISO et GHG Protocol

(Base carbone, Ademe 2014)

2. Consommation de quelques produits

2.1. Téléviseurs

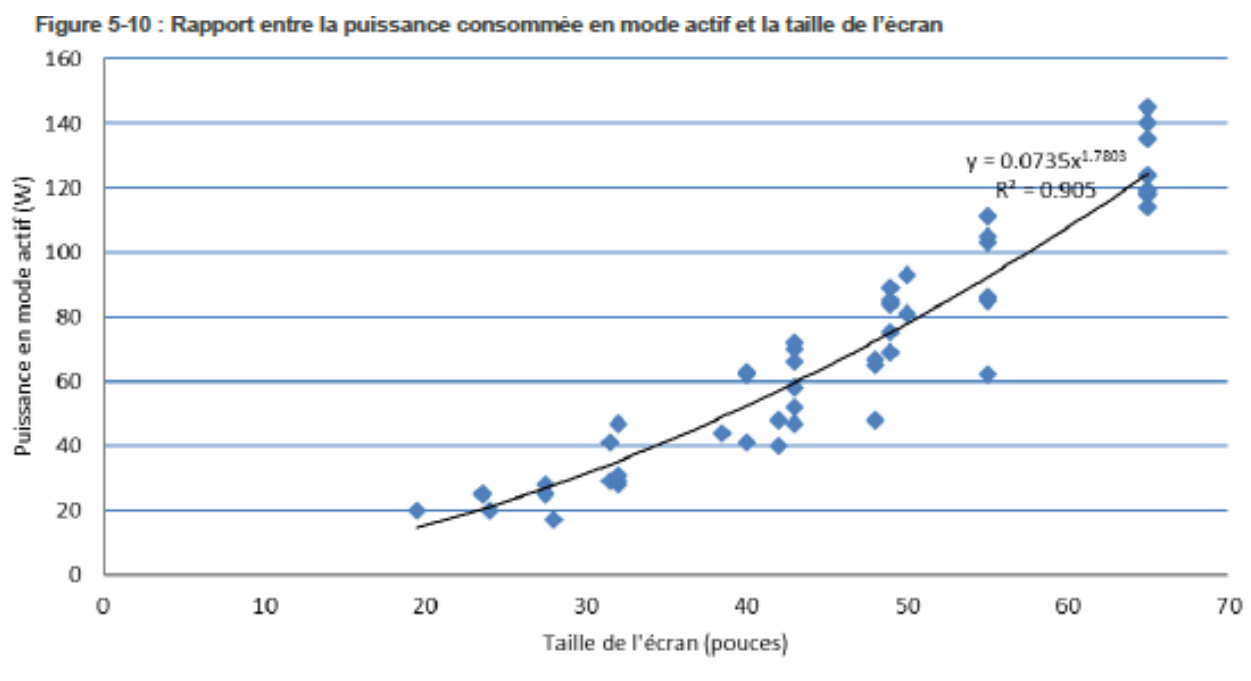
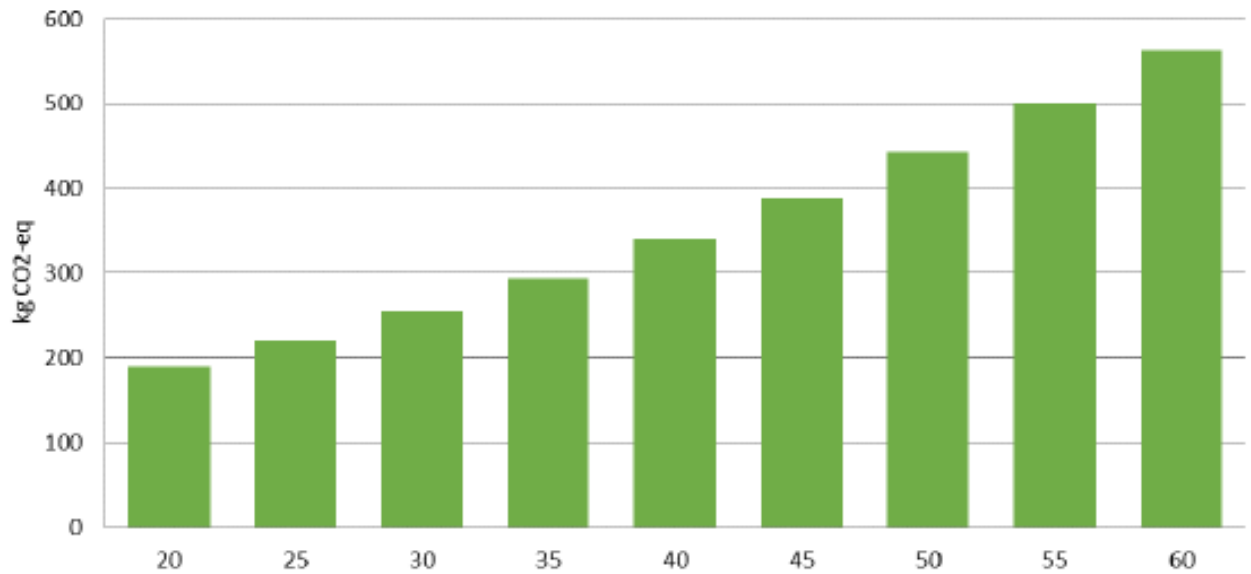
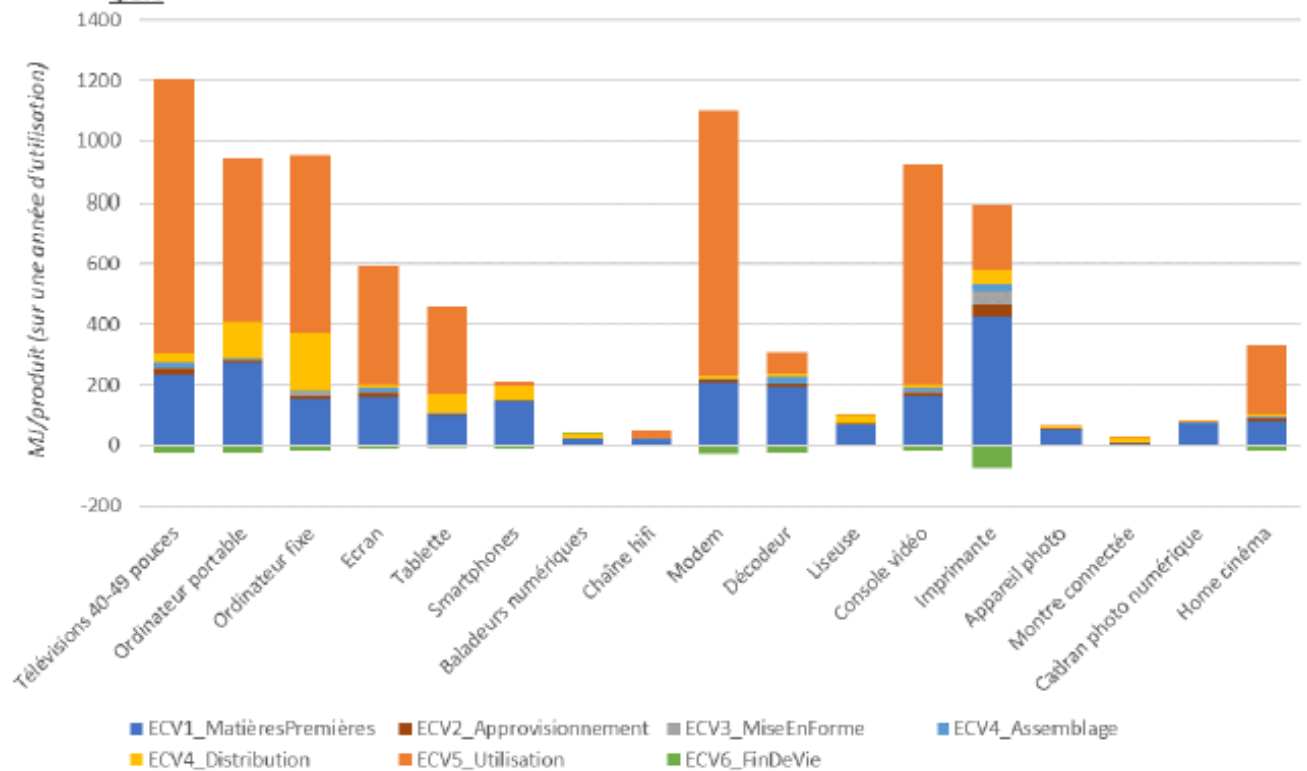


Figure 5-11 : Impact GES des télévisions en fonction de la taille de leurs écrans sur le cycle de vie complet



2.2. Autres produits

Figure 5-5 : Contribution des appareils électriques à forte composante électronique domestiques au CED en cradle-to-grave

3. Quelques ACV de postes de travail informatiques

8.2.2.1 - ORDINATEURS, ECRANS ET MOYENS DE PROJECTION

Tableau 25 : Données sources des ordinateurs, écrans et moyens de projection

Nature de l'équipement	Facteurs d'émissions
Tablette < 10 pouces	83 kg CO ₂ e (moyenne) 2 sources : ACV de constructeur Apple (min 75, max 91), publiées en 2010 et 2011 Incertitude : 100%
Laptop ≤ 14,1 pouces	203 kg CO ₂ e (moyenne) 7 sources : ACV de constructeur (Apple et Dell), SimaPro avec base EcolInvent (min 180, 238), publiées entre 2007 et 2011 Incertitude : 50 % - Ecartype : 22
Laptop > 15 pouces	392 kg CO ₂ e (moyenne) 3 sources : ACV de constructeur Apple (min 331, max 460), publiées en 2009 et 2011 Incertitude : 75 % - Ecartype : 64
LCD 17 pouces	336 kg CO ₂ e 1 source : Evaluation modulaire à partir de SimaPro (données EcolInvent), effectuée en 2011 Incertitude : 100%
LCD ≥ 24 pouces	486 kg CO ₂ e (moyenne) 2 sources : ACV de constructeur Apple (min 431, max 541), publiées en 2008 et 2010 Incertitude : 100%
CRT 17 pouces	38 kg CO ₂ e 1 source : ADEME Incertitude : 100%
Desktop (mini)	175 kg CO ₂ e 1 source : ACV de constructeur Dell, publiée en 2010 Incertitude : 100%
Desktop (standard)	305 kg CO ₂ e (moyenne) 2 sources : ACV de constructeur Fujitsu, SimaPro (min 270, max 339), publiées en 2010 et 2011 Incertitude : 100%
Desktop (puissant)	865 kg CO ₂ e 2 sources : ACV de constructeur Apple, publiées en 2009 Incertitude : 100%
All-in-one ≤ 21 pouces	501 kg CO ₂ e (moyenne) 3 sources : ACV de constructeur Apple (min 470, max 583), publiées entre 2008 et 2010 Incertitude : 75 % - Ecartype : 152
All-in-one ≥ 24 pouces	793 kg CO ₂ e (moyenne) 2 sources : ACV de constructeur Apple (min 720, max 866), publiées en 2008 et 2009 Incertitude : 100%
Projecteur vidéo	94 kg CO ₂ e (moyenne) 3 sources : ACV de constructeur Epson (min 56, max 101), publiées entre 2009 et 2010 Incertitude : 75 % - Ecartype : 24

Annexe 6 : Les discussions sur les ECV des data centers

Bilan de la DGEC :

« ECV commun ou distinct pour chaque acteur ?

Les acteurs soulignent leurs différences et l'intérêt d'une discussion au cas par cas.

Interxion souhaite que l'ECV prenne la forme d'une signature bipartite avec l'État au motif que les fédérations n'ont pas les mêmes objectifs à atteindre en matière de PUE, et que les acteurs de la colocation sont dans des situations différentes, avec ni le même impact environnemental sur la consommation d'énergie, ni la même empreinte carbone, et que le détail de ces informations ne peut être partagé car relevant de la concurrence entre les opérateurs. Chercher un **dénominateur commun** nivellerait par le bas.

Equinix considère ce projet ambitieux mais peu réaliste et s'interroge sur un éventuel dénominateur commun avec les deux autres acteurs de la colocation.

France Datacenter précise que les acteurs de la colocation ne représentent qu'une partie minoritaire des centres de stockage des données numériques et que ces derniers ont des marges de progression plus limitées en matière d'efficacité énergétique. Les fédérations peuvent intervenir auprès de ceux qui détiennent en propre des centres de stockage de données numériques, c'est-à-dire les utilisateurs finaux. France Datacenter propose d'accompagner ces derniers sur différentes actions comme **la sensibilisation à la récupération de la chaleur fatale ou la promotion des bonnes pratiques via la valorisation du code de bonne conduite européen**. L'association précise qu'elle ne souhaite pas que l'ECV fasse allusion à l'avantage fiscal qui ne les concerne pas. Les engagements d'une association ne peuvent pas être de même nature que celles des opérateurs qui les constituent.

Gimélec a évoqué un ECV avec des engagements à respecter propres à chaque signataire. Il estime que si le but est de faire baisser la consommation énergétique de la filière, il ne faut oublier personne et souligne le nécessaire effet d'entraînement de l'ECV.

L'AFNUM souhaite **une approche sectorielle** et neutre avec des critères applicables à tous.

Le MTES fait valoir l'intérêt d'un seul engagement : permet d'avoir une communication synchronisée et plus massive sur la base d'un seul objet, donne une lisibilité à l'engagement du secteur. L'engagement initial commun des opérateurs sur les PUE est repris dans l'ECV (pas de nivellement supplémentaire), les autres engagements seront de toutes façons un plus. On peut avoir des engagements de deux natures, en deux parties (fédérations vs opérateurs). Les discussions avec les opérateurs peuvent être conduites sur une base bilatérale et confidentielle. Sur cette base il est convenu de partir sur **un seul document**.

Le cadrage de l'ECV et la teneur des engagements :

Tous les acteurs (dont IBM selon France Datacenter) se sont interrogés sur la valeur juridique des ECV. Il s'agit d'un contrat avec une obligation de mettre en œuvre tous les moyens pour arriver aux résultats fixés. **L'ECV ne donne pas lieu à des poursuites** (une clause est prévue à cet effet).

Interxion a précisé que d'autres acteurs de la colocation ont été sollicités en amont pour participer aux discussions et la démarche comme Telehouse et OVH (qui héberge les données data.gouv), sans

vouloir aller plus loin. Ils pourraient éventuellement rejoindre l'ECV plus tard. Des nouvelles adhésions sont prévues dans l'une des clauses de l'ECV.

Interxion a estimé que certains engagements présentés dans le projet de texte du 06/12/18 ne sont pas pertinents car déjà atteints ou pas atteignables. Ce point sera traité dans les discussions bilatérales.

La DGE a indiqué qu'*Interxion* réalise déjà l'engagement relatif au management de l'énergie ISO 50 0001.

France Datacenter a :

- insisté sur la protection des données
- souhaité que **l'État s'engage au titre de son exemplarité** ;
- proposé de rédiger un document de synthèse sur les points les plus importants du code de bonne conduite européen ;
- indiqué que, selon elle, **les data centers sont hors du périmètre du décret tertiaire** (repris par tous)
- exprimé une forte demande en matière de communication sur les analyses de cycle de vie des data centers ;
- signalé l'importance **d'intégrer à l'ECV les utilisateurs finaux** qui font partie de la filière.

La DGE a proposé d'informer les utilisateurs finaux sur les dispositifs d'avantages fiscaux en vigueur.

Le CGDD demande que des indicateurs de suivi soient mis en place pour mesurer les efforts accomplis dans le cadre de l'ECV.

Le CGDD a précisé qu'une action de communication de la part de l'État est réalisée pour chaque ECV.

Annexe 7 : Quelques extraits du rapport CGTI de 2008 (aspects gains liés aux TIC)

Outre les valeurs de consommation liées aux TIC, l'étude avait fourni quelques estimations des gains potentiels des TIC, en se basant sur des études internationales (notamment Smart 2020), et en les pondérant au pro rata du PIB de la France :

Domaine	Gains mondiaux	Rapportés à la France
Dématérialisation	460 Mt	20,7 Mt
<i>Medias en ligne</i>	<i>20 Mt</i>	<i>0,9 Mt</i>
<i>E-commerce</i>	<i>30 Mt</i>	<i>1,35 Mt</i>
<i>E-papier</i>	<i>70 Mt</i>	<i>3,15 Mt</i>
<i>Vidéoconférence</i>	<i>80 Mt</i>	<i>3,6 Mt</i>
<i>Télétravail</i>	<i>260 Mt</i>	<i>11,7 Mt</i>
Moteurs intelligents ¹²¹	970 Mt	43,7 Mt
Logistique intelligente	1200 Mt	54 Mt
Bâtiments intelligents	1680 Mt	76 Mt
Réseaux électriques intelligents	2020 Mt	91 Mt

Néanmoins la difficulté à chiffrer les gains est majeure. Sur le seul créneau commun à deux études (Smart 2020 et UE « Assessing opportunities for ICT to contribute to sustainable development, 2005), celui de la dématérialisation, les gains varient de 1 à 3 : 20,7 Mt pour Smart 2020 et 7,5 Mt CO₂/an pour l'étude UE.

Une vingtaine de recommandations avaient été émises :

- Revoir le décret de 2005 sur les DEEE en vue de multiplier par 4 le volume effectivement traité et d'assurer une meilleure transparence et concurrence dans le secteur
- Rendre obligatoire l'affichage des consommations des produits bruns
- Rendre obligatoire la compatibilité TNT-HD sur tous les téléviseurs vendus
- Obtenir des opérateurs qu'ils proposent des forfaits d'abonnement sans fourniture de mobiles
- Introduire le développement durable dans les objectifs des instances de régulation Arcep, CSA, ANFR
- Etablir avec les industriels une charte et des engagements d'écoconception des produits
- Encourager le télétravail, et le e-commerce par une sécurisation accrue des paiements
- Etre exemplaire au niveau de l'Etat dans les achats publics (exigence de labels) et dans la gestion intelligente des bâtiments

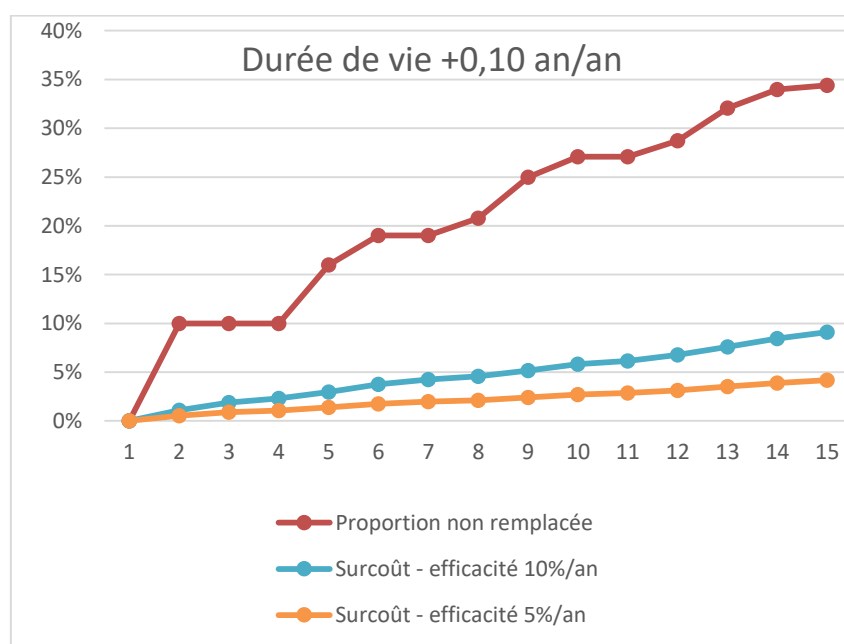
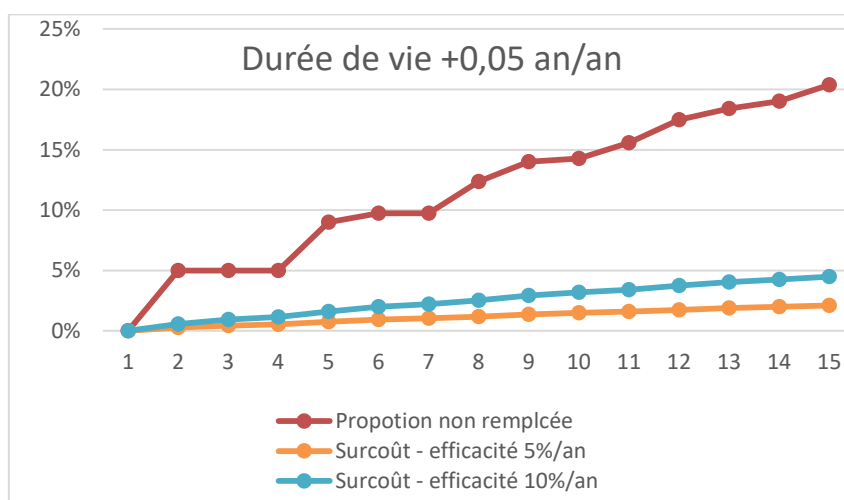
¹²¹ Equipement de variateurs sur les moteurs électriques.

Annexe 8 : Allonger la durée de vie versus gain d'efficacité énergétique

Cette annexe développe un modèle simple pour montrer que l'allongement de la durée de vie, même faible entraîne une surconsommation modérée liée au vieillissement du parc. Les hypothèses du modèle sont les suivantes :

- A $t=0$, le parc est composé d'une population d'équipements de l'année en cours et des deux années précédentes en proportion égales (un tiers chaque population)
- Le parc est supposé constant au cours du temps
- Modèle de durée de vie :
 - A $t=0$, la durée de vie est de trois ans.
 - Chaque année, les équipements sont gardés en service une durée supplémentaire dt .
Les simulations sont faites pour +0,05 année par an et +0,10 année par an
- L'efficacité énergétique présente un gain soit de 5% par an, soit de 10% par an

Les résultats sont les suivants :



La courbe « proportion non remplacée » se fait par référence au tiers de la population qui serait remplacée chaque année si la durée de vie restait constante. Il s'agit donc de la proportion d'énergie grise de production des équipements qui est évitée.

Les deux courbes de surcoût correspondent à la consommation supplémentaire annuelle du parc par rapport à la consommation du parc sans vieillissement, bénéficiant de l'efficacité énergétique.

Comme le coût énergétique de production est supérieur au coût énergétique d'usage, ces courbes montrent qu'il y a un gain substantiel global à augmenter la durée de vie des équipements.

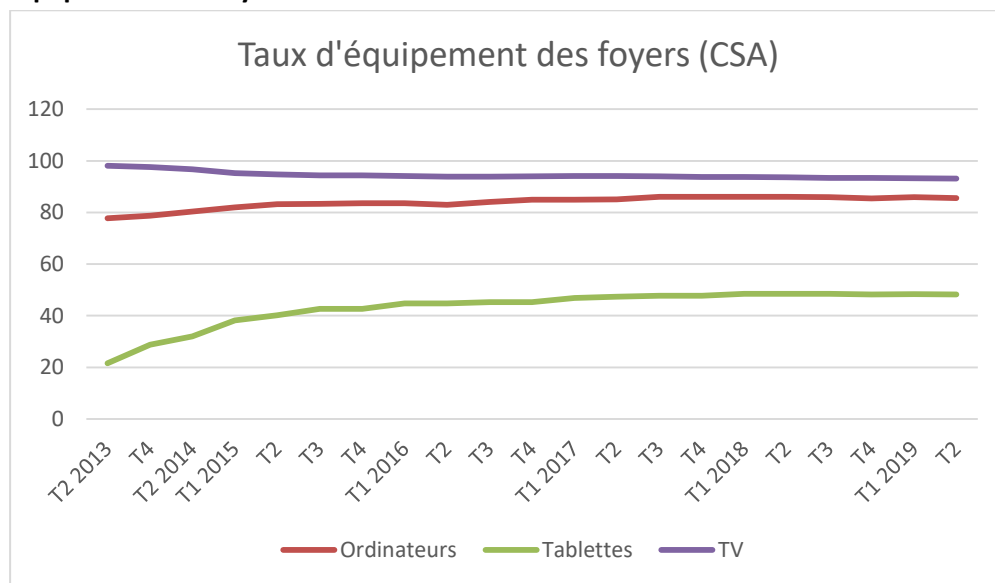
Annexe 9 : Séries Observatoire de l'équipement des foyers en audiovisuel

Le Conseil supérieur de l'audiovisuel publie depuis 2013 un observatoire qui donne le taux d'équipement des foyers en écrans permettant de recevoir de contenus audiovisuels.

La source est un sondage trimestriel sur un panel de 10 000 personnes interrogées par téléphone ou par Internet.

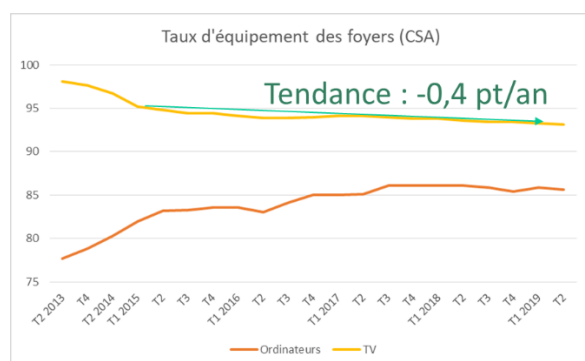
L'observatoire est publié régulièrement avec des données trimestrielles depuis 2015. Les années 2013 et 2014 n'ont pas autant tous leurs trimestres publiés.

Equipement des foyers

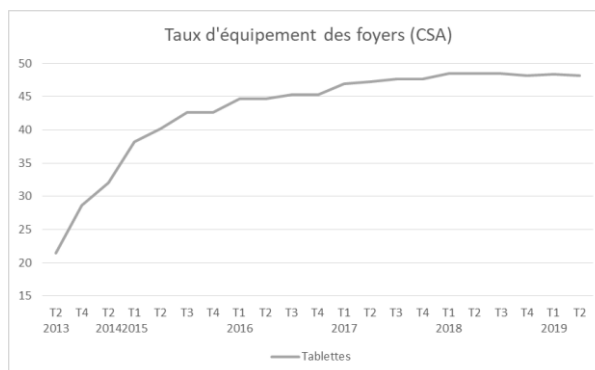


En supposant le panel non biaisé, l'écart type, ou la précision, de ces résultats est de $\pm 0,7$ point. Cette hypothèse paraît valable pour la télévision, le panel ayant été constitué historiquement pour ce média. Elle est discutable pour les ordinateurs et les tablettes, ce qui pourrait expliquer les écarts de chiffres sur le nombre d'écrans d'ordinateurs ou de tablettes par foyer publiés pour le second semestre 2015 (cf. ci-après).

Les courbes montrent une baisse tendancielle de l'équipement en téléviseurs de 0,4 point par an, un pic d'équipement des ménages en ordinateurs atteint en 2017 et ben tablettes en 2018.



Zoom sur l'équipement Téléviseurs et ordinateurs

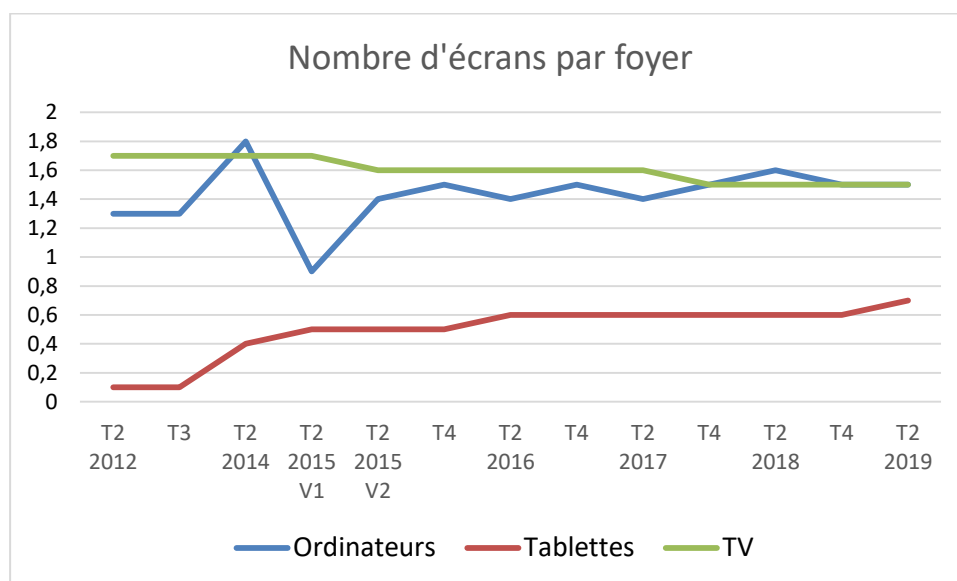


Zoom sur l'équipement en Tablettes

Multiéquipements des foyers

L'observatoire publie depuis 2015 le nombre d'écrans par type (TV, PC, etc.) et par foyer.

La série historique donne :



La baisse tendentielle du multiéquipement télévisuel est de l'ordre de 0,03 par an (soit 0,2 téléviseur de moins en 7 ans), alors que le multiéquipement en ordinateur et tablettes a tendance à augmenter.

Il est à noter que l'observatoire T2 2015 (T2 2015 V1) donne des valeurs différentes pour ce trimestre de observatoire publié en 2018 et qui met en référence ce trimestre plus pour les ordinateurs et les tablettes, l'écart étant très fort pour les ordinateurs.

Les chiffres étant donnés avec une décimale, une imprécision de ± 5 point s'ajoute à l'imprécision de constitution du panel.

Annexe 10 : Consommations unitaires d'autres dispositifs

Chargeurs et alimentations

Les autorités américaines ont lancé dès les années 1990 une démarche de promotion des matériels informatiques et électroniques économes en énergie, avec un label volontaire « Energy Star ». L'Union européenne a, de son côté, poussé des seuils minima d'efficacité énergétique des chargeurs et alimentations. Ces deux types de démarche sont partiellement harmonisées, même s'il existe des différences mineures de performance. Les exigences techniques couvrent la plupart des usages courants, hors ateliers d'énergie.

	Niveau V 2008 (energy *, USA), 2011 (ErP, UE) ^a	Niveau VI 10/02/2016	UE (CoC Tier 2) (2016)	
			Charge moyenne	10% de charge
$P \leq 1 \text{ W}$	$\geq 0,497 \times P_{no} + 0,067$	$\geq 0,517 \times P_{out} + 0,087$	$\geq 0,517 \times P_{out} + 0,091$	$\geq 0,517 \times P_{out}$
$1 < P \leq 49 \text{ W}$	$\geq 0,0750 \times \ln(P_{no}) + 0,561$	$\geq 0,0834 \times \ln(P_{out}) - 0,014 \times P_{out} + 0,609$	$\geq 0,0834 \times \ln(P_{out}) - 0,0011 \times P_{out} + 0,609$	$\geq 0,0834 \times \ln(P_{out}) - 0,00127 \times P_{out} + 0,518$
$49 < P \leq 250 \text{ W}$	$\geq 0,86$	$\geq 0,87$	$\geq 0,89$	$0,78$
$P > 250 \text{ W}$	ND	$\geq 0,875$	NA	NA

Les niveaux d'efficacité minimaux requis (efficacité moyenne, voltage normal) sortie < 6V

P_{no} : puissance nominale, P_{out} : puissance de sortie.

^a En niveau V, la puissance limite de la directive ErP est de 51W.

Les niveaux d'efficacité minimaux requis (efficacité moyenne, voltage normal) sortie $\geq 6\text{V}$

	Niveau IV	Niveau V 2010 (USA), 2011 (UE)	Niveau VI 10/02/2016	UE (CoC Tier 2) (2016)	
				Charge moyenne	10% de charge
$P \leq 1 \text{ W}$		$\geq 0,48 \times P_{no} + 0,14$	$\geq 0,5 \times P_{out} + 0,16$	$\geq 0,5 \times P_{out} + 0,169$	$\geq 0,5 \times P_{out} + 0,06$
$1 < P \leq 49 \text{ W}$	$\geq 0,09 \times \ln(P_{no}) + 0,49$	$\geq 0,0626 \times \ln(P_{no}) + 0,622$	$\geq 0,071 \times \ln(P_{out}) - 0,014 \times P_{out} + 0,67$	$\geq 0,071 \times \ln(P_{out}) - 0,0115 \times P_{out} + 0,67$	$\geq 0,071 \times \ln(P_{out}) - 0,014 \times P_{out} + 0,67$
$49 < P \leq 250 \text{ W}$	$\geq 0,84$	$\geq 0,87$	$\geq 0,88$	$\geq 0,89$	$\geq 0,79$
$P > 250 \text{ W}$	ND	ND	$\geq 0,875$	NA	NA

De plus, les USA et l'Europe définissent des puissances maximales en absence de charge :

	Niveau V (energy star) & ErP ^b	Niveau VI	UE (CoC Tier 2) (2016)
$1 < P \leq 49 \text{ W}$	0,3 W	0,1 W	0,075 W
$49 < P \leq 250 \text{ W}$	0,5 W	0,21 W	0,15 W

^b : Limite de puissance : 50 W (Energy star 2008) ou 51 W (ErP 2011) au lieu de 49 W.

Consommations de matériels de réseau annexes

Répéteurs Wifi (source lesnumeriques)

Modèle	Conso. au repos (W)	Conso en transmission de données (W)
Netgear Orbi 50 (RBK50)	6,4	9,0
Netgear WN3000RP	1,5	3,9
Netgear EX7300 Nighthawk	4,0	5,2
Netgear EX6150	3,4	7,2
Netgear EX6130	2,9	3,3
TP-Link Deco M5	4,1	5,3
TP-Link TL-WA850RE	1,5	2,6
Devolo GigaGate Base	3,5	6,9
Devolo GigaGate Satellite	5,8	8,5
Devolo WiFi Repeater	2,9	4,3
Linksys Velop	5,2	7,8

Par exemple, un répéteur WiFi de consommation au repos de 3W et en transmission de données de 6 W consommerait annuellement en entreprise de l'ordre de 30 kWh. Un parc de 3 millions de répéteurs consomme de l'ordre de 100 GWh production nette.

Courants porteurs en ligne (CPL)

Consommation de quelques systèmes : il est à noter que, comme pour les équipements de réseau (routeurs) la consommation varie peu entre la veille et la transmission de données.

	Veille	Transmission	Sans signal	Classe	Sortie
D-Link DHP-701AV	4,5 W	4,7W	0	2 Gb/s	2016
Netgear PLP2000	4,8 W	4,9 W	0,3 W	2 Gb/s	2017
TP-Link TL-PA4015PKIT	1,7W	2 W	0,5 W	500 Mb/s	2013
Devolo dLAN 1200 triple+	2,5 W	4,3 W	0,4 W	1 Gb/s	2017
TP-Link TL-PA9020P	4,3 W	4,6 W	0,3 W	2 Gb/s	2016
Netgear PLP1200	6,6 W	7,1 W	5 W	1 Gb/s	2015
Trendnet TPL-421E	2,4 W	3,1 W	0,4 W	1 Gb/s	2016

La consommation d'un système CPL est celle de tous les équipements reliés sur le réseau électrique du local, avec un minimum de 2. Compte tenu du temps de rétablissement du débit en sortie du mode « sans signal » ou « veille prolongée », l'utilisateur est incité à ne pas couper ses autres équipements en cas d'absence courte. Aussi, la consommation annuelle d'un couple de 2 CPL de consommation en veille de 4,5W et de 4,7W en transmission est de l'ordre de 80 kWh.

Un parc de 1,2 million de systèmes génère une consommation de l'ordre de 100 GWh.

La consommation d'un système CPL est proche de celle d'une box ou d'un portable.

Combinés CPL-WiFi

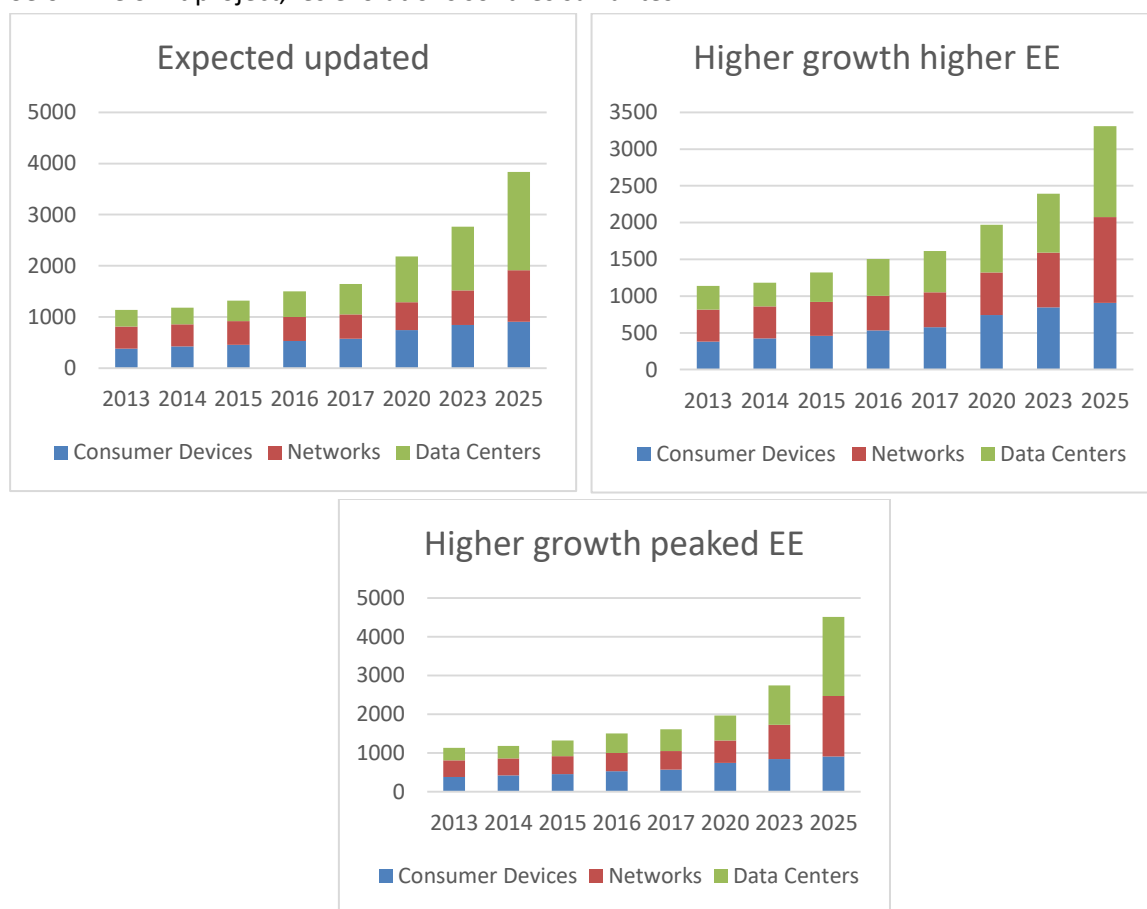
	Veille	Transmission	Sans signal		
Devolo Magic 2 WiFi	3 W	4,5 W		2Gb/s	2018
- Mode WiFi	5,7 W	10,1 W	5,3 W	En sus du CPL	
TP-Link TL-WPA8630P	2,2 W	4,2 W	0,1 W	1 Gb/s	2016
- Mode Wifi	5,3 W	6,7 W		En sus du CPL	

Annexe 11 : Comparaison des prévisions de la consommation mondiale liée aux usages du numérique

Cette annexe précise la méthodologie et les résultats pour les trois segments de consommation, les data centers, les réseaux et les terminaux, dans leur phase d'usage.

5.4.1.1 Consommation des data centers

Selon The Shift project, les évolutions sont les suivantes :



On observe que la part énergétique des data centers devrait être prépondérante à terme, quel que soit le scénario. En effet, ces simulations se fondent sur l'explosion du trafic de données au niveau mondial du fait de la croissance du nombre d'utilisateurs, de terminaux connectés, et à l'augmentation du trafic vidéo, des services fournis par les GAFAM. Le trafic sur les réseaux devrait augmenter de 24% par an entre 2016 et 2021 et de 35% par an dans les data centers (Cisco). Cependant, l'efficacité énergétique des data centers se fonde sur la méthodologie d'Andrae, avec une valeur mesurée de 0,135 TWh/ExaByte, valeur datant de 2010, et un gain en efficacité énergétique de 15% par an dans le meilleur des cas, 10% dans le cas moyen et 5% dans le cas le pire. On comprend donc pourquoi les estimations projettent une croissance très forte de la consommation, l'accroissement du trafic n'étant pas contrebalancée, et de très loin, par les gains d'efficacité.

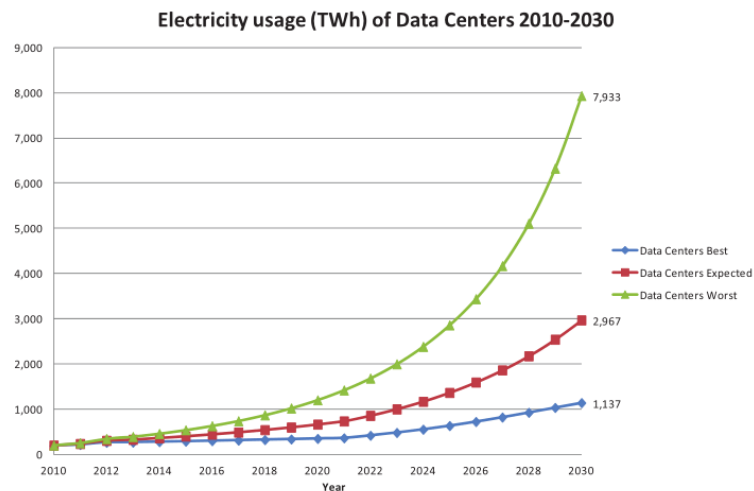
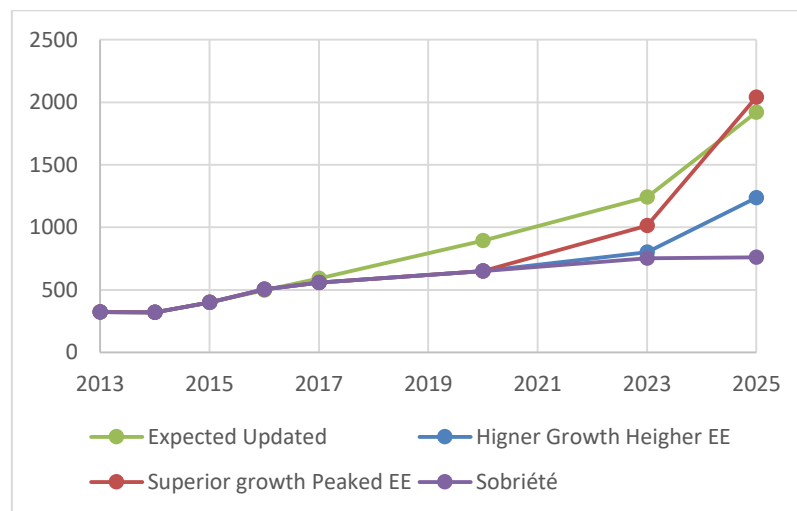


Figure 4. Global electricity demand of data centers 2010–2030.

Source : Andrae 2015



Source : The Shift Project

Les prévisions sur les flux de données sont régulièrement revues à la hausse. Selon l'étude, cette explosion du trafic de données remet en question la capacité des équipements de stockage à faire face à l'afflux de données d'ici 2020¹²². A noter sur ces courbes :

- On observe une croissance de la consommation de 2014 à 2016. Ceci tient au modèle puisque les données concernant les gains d'efficacité énergétique mobilisés sont appliqués dès 2010.
- Le scénario « higher growth – higher EE » conduit à une consommation inférieure au scénario nominal « expected updated », puisque l'écart de croissance du trafic entre ces deux scénarios est plus faible que l'écart de gain d'efficacité énergétique.

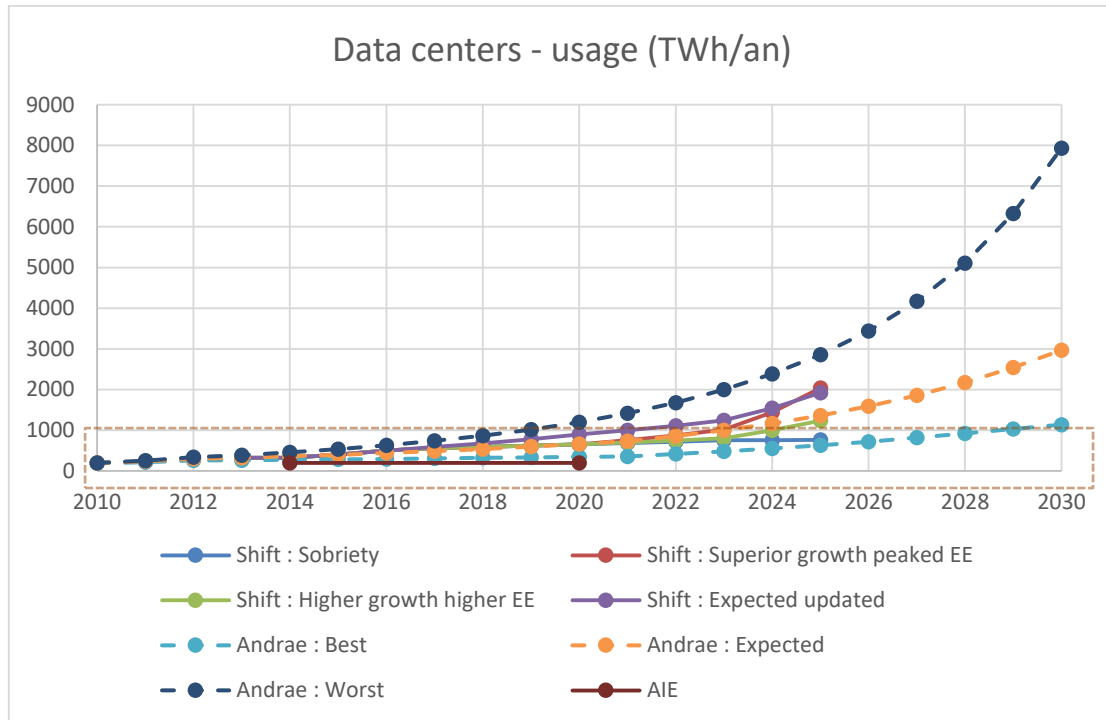
L'AIE, quant-à elle, estime plutôt une stabilisation de la consommation électrique des data centers entre 2010 et 2020 avec une consommation électrique de 194 TWh (2014), soit 1% de la demande mondiale d'électricité, et une croissance globale de 3% d'ici 2020. En terme de méthodologie, les

¹²² « A noter par ailleurs que cette croissance (l'explosion du trafic de données) est si forte qu'une question se pose quant à la capacité même d'assurer une production industrielle suffisante en termes d'équipements de stockage à l'échéance 2020 (Techradar, 2015) » Page 17 du rapport « Lean ICT » du Shift Project.

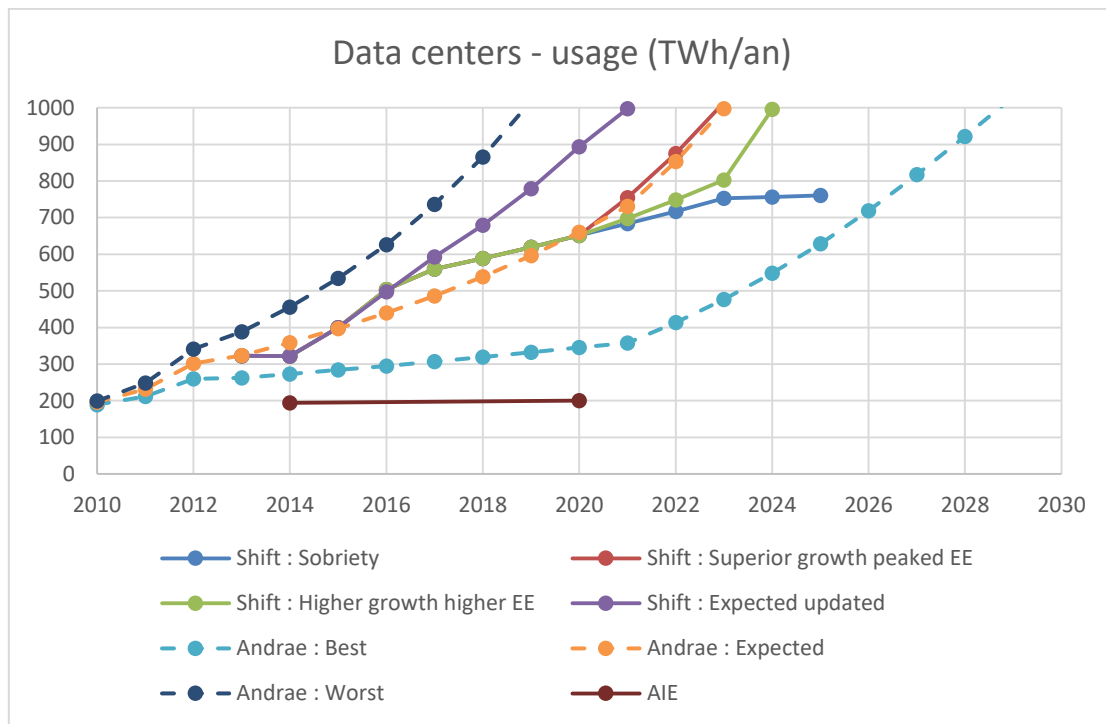
estimations de l'AIE ont été calculées d'une part à partir des hypothèses d'une étude de Berkeley (2016) portant sur la consommation énergétique des data centers aux États-Unis¹²³, et d'autre part à partir des modèles de data centers, de serveurs, de capacités de stockage issus de Cisco's Global Cloud Index (GCI) (2016). Les hypothèses de croissance sont les suivantes (2014 – 2020) :

- Un besoin en capacité de calcul multiplié par trois,
- Une hausse de 22% du nombre de serveurs,
- Une hausse de 46% des unités de stockage.

Les deux figures suivantes montrent les trois estimations (Andrae, The Shift Project et AIE) sur un même graphique, ainsi qu'un zoom du premier sur l'échelle 0-1000 TWh.



¹²³ Shehabi, A., et al. United States Data Center Energy Usage Report, Berkeley, CA, 2016.



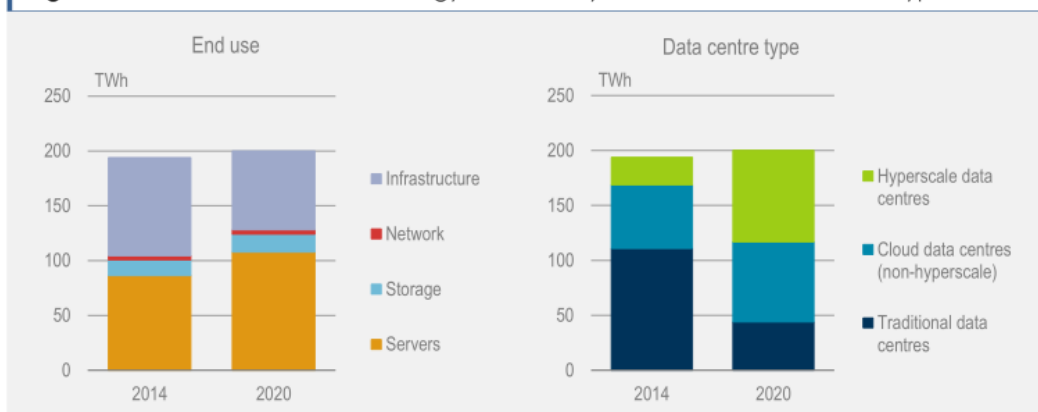
On pourra s'étonner des différences d'estimation entre ces deux études. Par exemple, pour 2014, l'AIE annonce 194 TWh (modèle à partir de données réelles de l'année) et The Shift 322 TWh (application d'un modèle à des données 2010)¹²⁴.

L'AIE que nous avons interrogée explique cet écart par le fait que malgré l'activité toujours plus intense des data centers, qui pourrait même doubler à court-terme, l'amélioration continue de l'efficacité énergétique et le recours croissant aux "hyperscale" data centers, ainsi qu'au cloud public permettra de limiter la croissance de la demande en électricité. L'Agence reprend l'exemple de la consommation électrique des data centers aux États-Unis, premier marché mondial, qui est restée stable entre 2010 et 2014.

D'ici 2020, les "hyperscale" data centers pourraient représenter 47% des data centers, contre 21% en 2015. Ces data centers disposent d'équipements informatiques très performants énergétiquement. Leur PUE est proche de 1 grâce à un système de refroidissement moins énergivore (*ex : OVH affiche un PUE moyen théorique de 1,09*¹²⁵). Ils utilisent moins de climatiseurs et privilégient le refroidissement liquide des serveurs (water-cooling), ou encore l'utilisation de l'air extérieur (free-cooling) pour dissiper la chaleur émise par les processeurs. Toutefois, ces grands data centers, situés loin de l'utilisateur final, sont particulièrement adaptés à des opérations où le temps de latence n'est pas problématique.

¹²⁴ Pour mémoire, d'autres études fournissent des chiffres dans cette fourchette : d'après l'étude de Koomey, les data centers auraient consommé entre 203 et 272 TWh en 2010, soit entre 1,1 et 1,5% de la consommation mondiale d'électricité. Van Heddeghem et al.¹²⁴ (2014) évalue cette consommation à 268 TWh en 2012.

¹²⁵ Le PUE réel serait de l'ordre de 1,22.

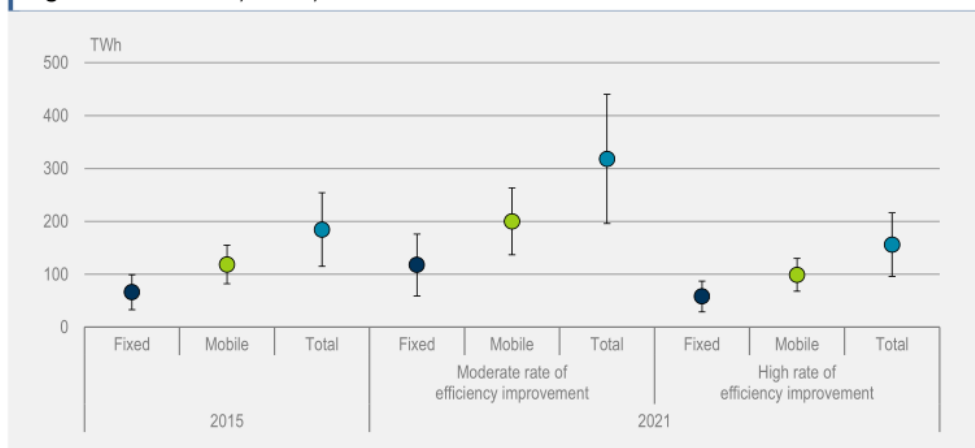
Figure 5.1 Global data centre energy demand by end use and data centre type

Source : AIE

En conclusion, en fonction des scénarios envisagés, les data centers consommeront entre **3 et 13% de l'électricité mondiale en 2030** contre 1% en 2010 (stable d'après l'AIE). L'étude d'Andrae, reprise par The Shift Project, souligne que le pire scénario est exorbitant mais pas irréaliste et que la poursuite des efforts en matière d'efficacité énergétique contribuera à stabiliser la consommation électrique des data centers.

5.4.1.2 Consommation des réseaux

L'AIE évalue la consommation mondiale d'électricité des réseaux de transmission de données à 185 TWh en 2015, soit environ 1% de la consommation électrique mondiale. Le réseau mobile représente les trois-quarts de la consommation électrique des réseaux.

Figure 5.3 Electricity use by internet data transmission networks

Au niveau méthodologique, l'évolution de la consommation électrique des réseaux est plus difficile à déterminer. Elle dépendra surtout du niveau d'amélioration en matière d'efficacité énergétique. L'AIE évalue la consommation d'électricité en 2021, selon deux scénarios d'amélioration de l'efficacité énergétique :

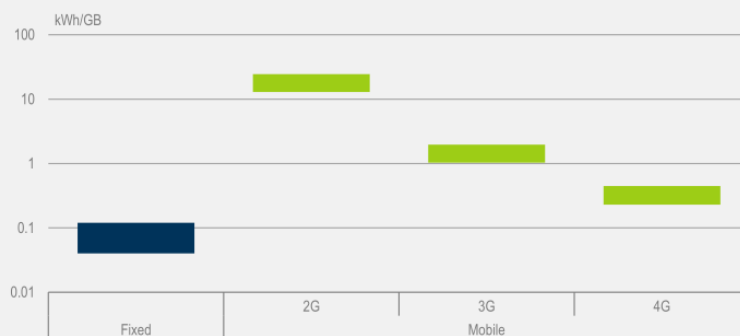
1. Le premier suppose un taux modéré de 10 % par an ce qui se rapproche des estimations d'améliorations historiques. Dans ce scénario, le point médian de la fourchette de la demande d'électricité en 2021 augmente de plus de 70% pour atteindre environ **320 TWh**.

2. Le second suppose un taux plus fort de 20% par an, sur la base des taux historiques atteints dans les réseaux bien gérés des pays développés avec un taux d'utilisation élevé des capacités.

Dans ce scénario, le point médian diminue de 15 % pour s'établir à environ **160 TWh**.

L'utilisation croissante des réseaux mobiles, qui consomment davantage que les réseaux fixes, pourrait augmenter la consommation électrique des réseaux. Le réseau 4G est quatre fois plus énergivore que le réseau fixe, mais le réseau 4G est aussi plus de cinquante fois moins énergivore que la 2G. Les gains utilisés dans les projections de l'AIE correspondent donc plutôt à des substitutions, typiquement de 3G par la 4G.

Figure 5.5 Electricity intensity of network transmission by access type in 2015

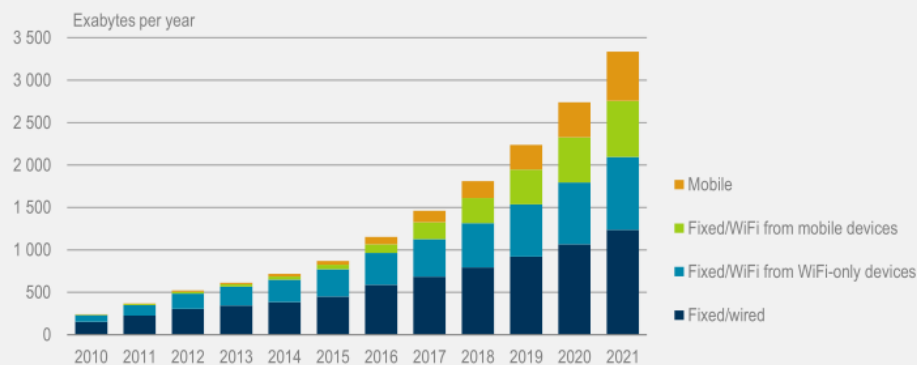


Key message: Mobile networks typically have higher electricity intensities (kWh/GB) than fixed-line networks, but newer generation mobile networks and increased mobile network capacity utilisation are closing the gap.

Notes: Fixed and mobile network energy intensities are inclusive of core, metro, edge and access networks; due to large differences in electricity intensities, a log scale is used to illustrate orders of magnitude differences; the energy intensities of fixed and mobile networks are highly dependent upon assumed traffic rates.

Sources: IEA analysis based on Andrae and Edler (2015); Aslan et al. (2017); Fehske et al. (2011); GSMA (2012); Malmudin (2017); Malmudin et al. (2014); Schien and Preist (2014); Schien et al. (2015).

Figure 5.4 Global IP traffic by access mode



Key message: The nature of data access is changing rapidly from wired to wireless devices.

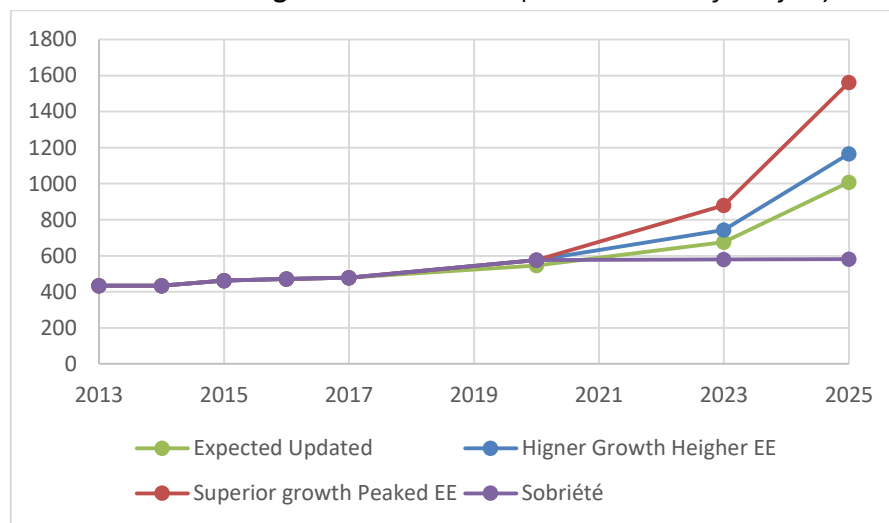
Sources: IEA calculations based on Cisco (2011b, 2012b, 2013b, 2014b, 2014c, 2014d, 2015b, 2015c, 2016e, 2016f, 2017a, 2017b, 2017c).

L'intensité énergétique du réseau fixe diminue de moitié tous les deux ans depuis 2000 dans les pays développés. L'efficacité énergétique du réseau d'accès mobile, au cours des dernières années s'est améliorée à des taux annuels d'environ 10 à 20 %. D'ici 2021, la 4G devrait couvrir environ 80 % du trafic mobile, tandis que la 2G devrait couvrir moins de 1 %.

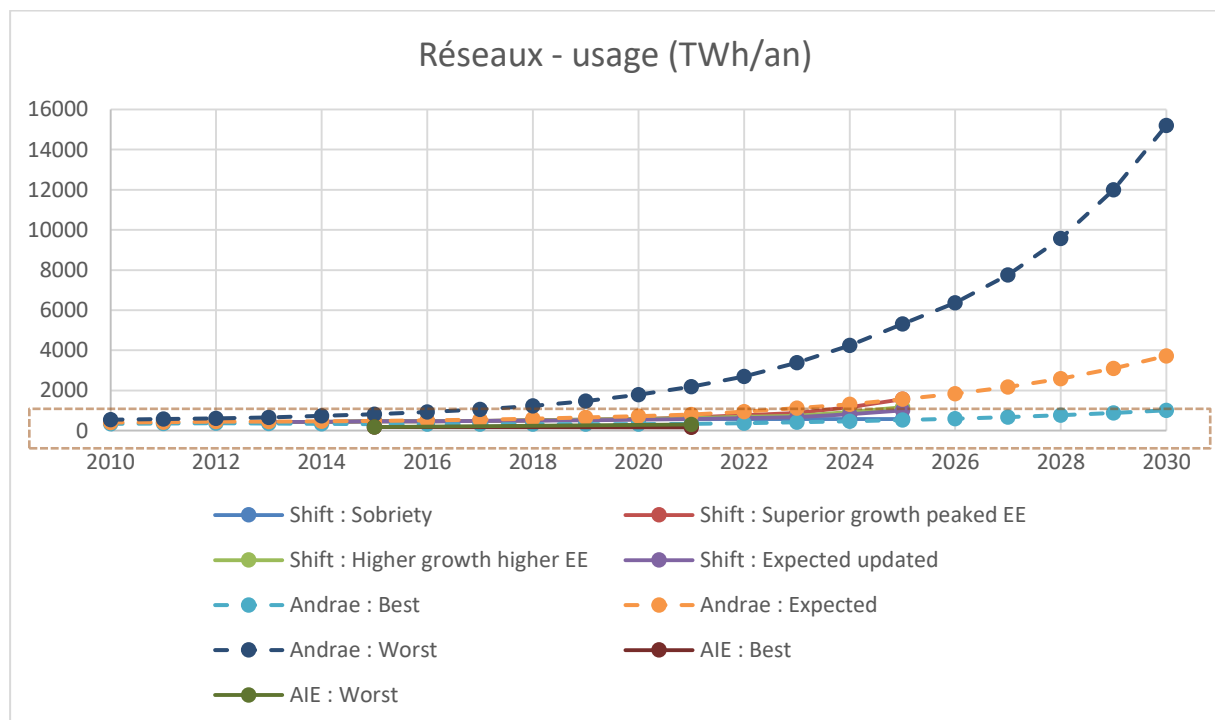
Enfin, l'apparition de la 5G permettra la croissance du trafic de données, accompagnée d'un fort gain énergétique.

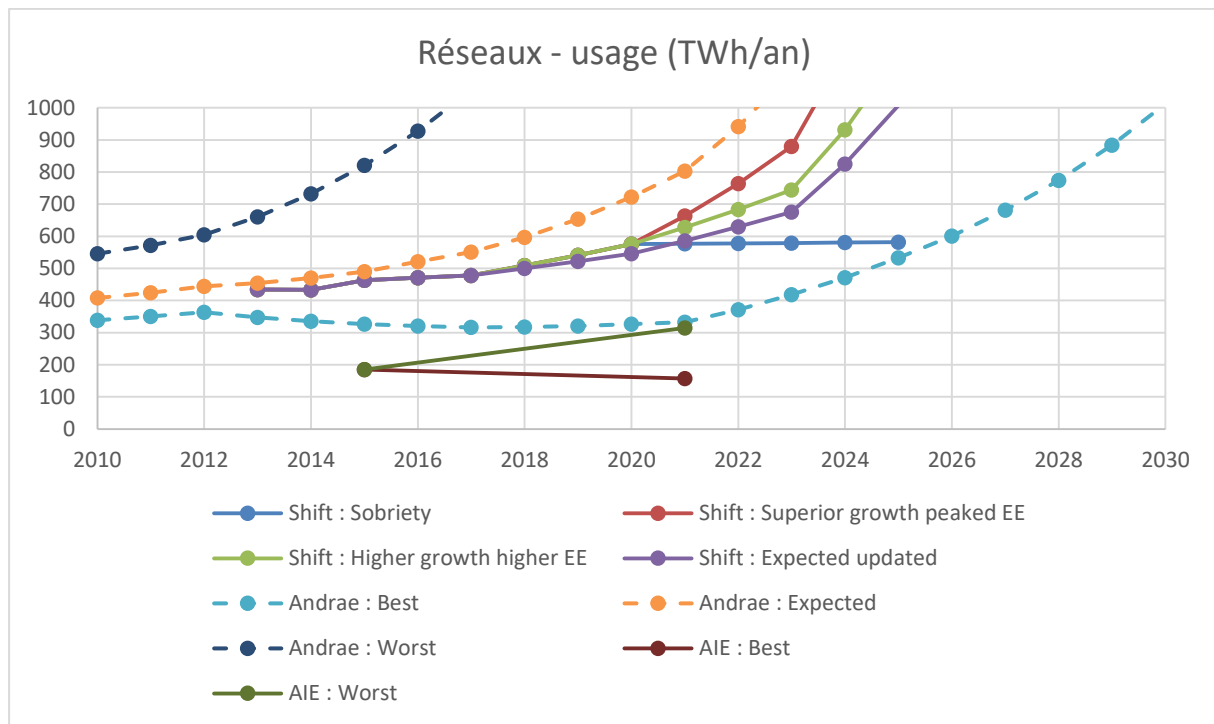
En ce qui concerne The Shift Project, les hypothèses de trafic de données sont tirées des études de Cisco, où le trafic est segmenté selon le réseau fixe, wifi et mobile. Pour le réseau fixe et wifi, la consommation énergétique est obtenue en utilisant des données réelles pour l'année 2012, puis en estimant les gains d'efficacité énergétique à 15% (cas le plus favorable), 10% (cas moyen) 5% (cas le pire). Pour les réseaux mobiles, la consommation est connue en fonction du réseau (2G, 3G, 4G et 5G), et l'évolution du trafic sur chacun de ces réseaux est projetée dans le futur, à l'aide des prévisions de Cisco. Il n'y a pas de gain en efficacité énergétique dans chaque gamme (2G, 3G, etc.), mais simplement une substitution progressive, correspondant au remplacement des matériels anciens par des matériels plus récents, qui consomment beaucoup moins à usage égal.

Consommation globale des réseaux (Source : The Shift Project)



Les deux figures suivantes montrent les trois estimations (Andrae, The Shift Project et AIE) sur un même graphique. Le second graphique est un zoom du premier sur l'échelle 0-1000 TWh.

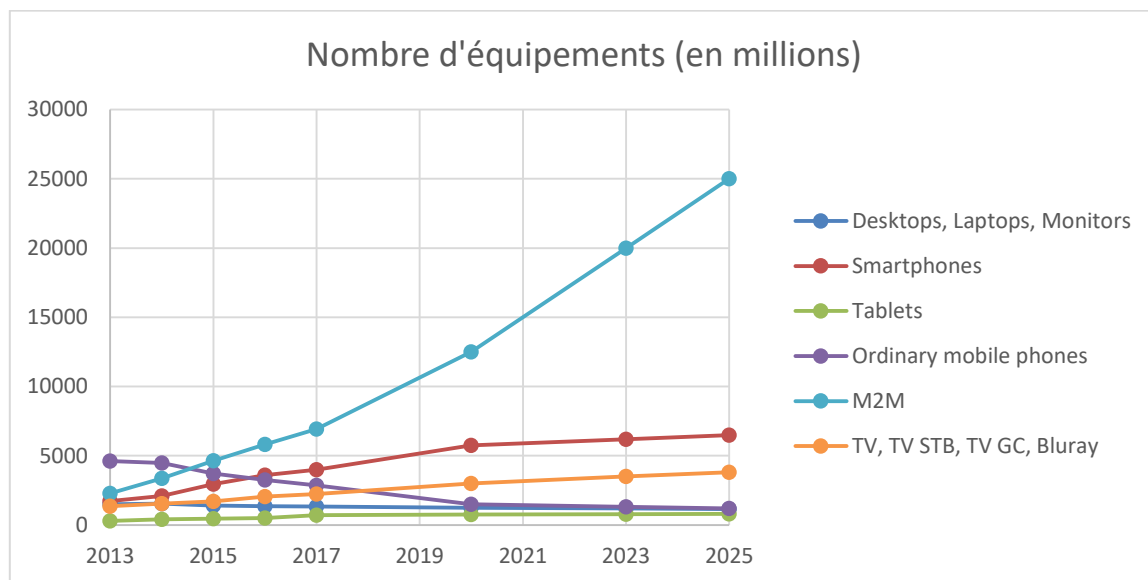




Zoom de la partie encadrée

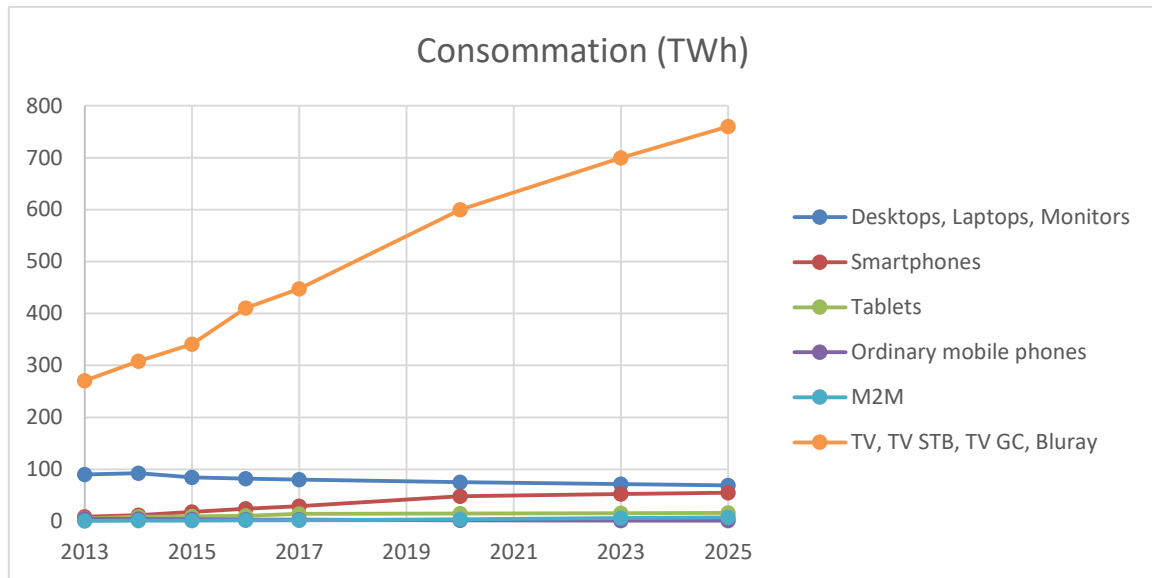
5.4.1.3 Consommation des équipements

En ce qui concerne la consommation des équipements, celle-ci est tirée par la croissance du nombre d'équipement, très forte pour l'internet des objets, forte pour les smartphones, plus faible pour les téléviseurs. L'ensemble des autres terminaux est en décroissance.

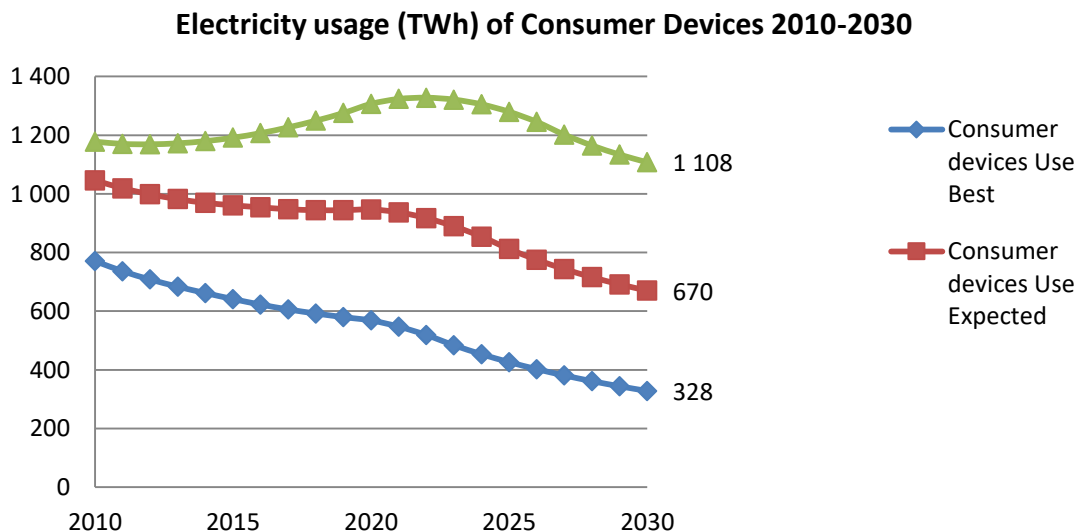


Source : The Shift Project (d'après les données de Cisco)

En termes de consommation unitaire, celle-ci est estimée constante. On observe que l'essentiel de la consommation est concentré sur les téléviseurs (l'écran).



Il est à noter que les projections annoncées par The Shift Project sont très différentes de celles du rapport d'Andrae, dont la méthodologie est pourtant reprise par The Shift. En fait, Andrae table sur une gain d'efficacité de 5% (Best), 3% (Expected) et 1% (Worst), ce que The Shift ne fait pas. On observe alors une décroissance de la consommation globale des équipements à horizon 2030 dans les 3 scénarios, ce qui montre comment une hypothèse modifie drastiquement les extrapolations par exponentielles.



Source : Andrae (2015)

L'étude de l'AIE, quant-à elle, se fonde sur les mêmes chiffres en termes de parc, mais ne fournit pas de chiffre global de consommation d'usage. Elle pointe cependant la question de la consommation en veille des équipements de l'internet des objets (IoT), qui est un point crucial, du fait de l'explosion de leur nombre.

Il est à souligner la différence entre les équipements IoT autonomes de ceux qui disposent d'une alimentation. Les premiers sont par nature plus sobres, l'énergie étant finie et chère : il faut remplacer ou recharger les batteries, ce qui suppose souvent des interventions humaines coûteuses.

Annexe 12 : Le cadre réglementaire

I. Introduction

La consommation du numérique n'a été qu'assez tardivement identifiée et prise en compte au sein de la consommation générale des équipements. D'ailleurs les derniers règlements sur la consommation et la réparabilité des appareils adoptés le 1 octobre 2019¹²⁶ mais non encore publiés par la Commission ne concerne que les téléviseurs et autres appareils ménagers, pas le numérique. Avant 2010, les normes et textes réglementaires concernaient l'ensemble des appareils, à savoir :

- La directive « EuP » 2005/32/CE¹²⁷ relative à l'écoconception qui fixe un cadre visant à imposer des produits conçus pour réduire leur empreinte environnementale, y compris pendant leur fabrication et leur élimination. Elle a institué un Comité qui a élaboré des règlements ponctuels comme le Règlement¹²⁸ (CE) 1275/2008 modifié par le Règlement¹²⁹ (UE) 801/2013 sur les modes veilles qui vise à réduire de 75% la consommation des veilles d'ici 2020.
- La directive 2006/32/CE relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales qui fixe un cadre général pour l'efficacité énergétique, et fournit une base juridique aux dispositifs fiscaux et réglementaires, que les Etats doivent mettre en place, avec un objectif d'économie de 9% de l'intensité au terme de la 9ème année d'application de la directive, la mise en place de compteurs communicants et une obligation de reporting tous les 3 ans pour les Etats membres.
- Le règlement¹³⁰ EC/106/2008 relatif à l'étiquetage des équipements de bureau qui ne concerne que les produits des fabricants ayant adhéré au programme Energy Star, cette adhésion étant sur une base volontaire. Il est donc surprenant de constater, dans la société de l'information d'aujourd'hui, que les cafetières, par exemple, qui ne génèrent qu'une consommation insignifiante, se voient obligées d'afficher leur consommation, alors que des millions d'ordinateurs, consommant unitairement 4 fois plus, n'ont aucune obligation. L'une des dispositions fortes du règlement oblige les institutions de l'Union Européenne et les autorités gouvernementales centrales des Etats membres à acquérir des équipements de bureau au moins au niveau de ceux d'Energy Star. Ce règlement a été appliqué par anticipation en France depuis la circulaire du Premier ministre du 28 septembre 2005¹³¹, qui précise que « A l'occasion du renouvellement de leur matériel de bureau, les administrations doivent acquérir des équipement certifiés « Energy Star » ». A la connaissance des rapporteurs, l'application des dispositions de la circulaire ne se heurte à aucun obstacle particulier. »

Cependant, la consommation du numérique a plus tardé à être prise en compte que d'autres secteurs et notamment celui des appareils ménagers. Alors que les appareils ménagers sont contraints

¹²⁶ https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products_fr

¹²⁷ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:191:0029:0058:fr:PDF>

¹²⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32008R1275>

¹²⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32013R0801>

¹³⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A02008R0106-20130326>

¹³¹ http://christian.grasland.free.fr/DDWC/Circulaire_du_28_septembre_2005_cle6b6811.pdf

d'afficher et d'évaluer leur consommation (étiquetage), les ordinateurs et les mobiles n'ont pas aujourd'hui cette obligation. Néanmoins, pour des raisons pratiques et notamment de durée de fonctionnement des batteries, les fabricants de mobiles ont cherché à minimiser cette consommation pour les terminaux mobiles. Les progrès ainsi réalisés ont pu bénéficier à certains appareils fixes.

De la même façon, la préoccupation de sobriété est peu prise en compte dans les standards de définition du format des contenus (image, fichier ou vidéo, eu égard au débit toujours croissant des réseaux alors que les instances de standardisation pourraient facilement s'en charger.

L'organisation de ce chapitre s'appuie sur la présentation retenue notamment par le Shift Project pour l'évaluation de la consommation d'énergie du numérique, présentation qui s'appuie globalement sur le lieu de consommation¹³², à savoir les data center, les réseaux d'opérateurs, l'énergie consommée directement par l'utilisateur final, et la production des appareils répartis entre téléviseurs, smartphones et ordinateurs. Certains de ces champs de consommation sont adressés par des réglementations couvrant des domaines plus vastes que le numérique, par exemple les terminaux au sein de l'ensemble des appareils électriques domestiques alors que d'autres champs comme les data center peuvent faire l'objet de réglementations spécifiques. D'autres présentations¹³³ comme celle de A. Bohas, F. Bertoud et G. Feltin dans les Annales des Mines largement reprise dans ce rapport, reprennent également au moins en partie cette organisation.

Au-delà de la consommation d'énergie, les réglementations peuvent prendre en compte l'empreinte du numérique sur l'eau et les matières premières. L'objet de ce rapport se focalise sur l'énergie y inclus celle nécessaire à la phase de fabrication (extraction comprise) pour autant que des données soient disponibles.

II. Empreinte globale du numérique

Au-delà des réglementations générales évoquées dans l'introduction, les premières réglementations ont d'abord porté sur la consommation de certains produits et appareils par l'utilisateur final, à savoir les téléviseurs¹³⁴, (Règlements 2009/642 et 2010/1062), les ordinateurs (Règlement 2013/617 en cours de refonte). Elles n'étaient en général pas orientées vers le type d'usage (consommation d'un mail ou d'une vidéo). Cette prise en compte de la seule énergie consommée directement par un pays et de l'empreinte carbone qui en résulte qui est celle retenue actuellement dans la réglementation (PPE et SNBC), sans la prise en compte du « carbone importé » via la phase de fabrication ». Néanmoins les directives et règlements européens les plus récents, comme les normes ITU ou ISO, visent à une vision plus globale intégrant également les phases de production et de fin de vie (souvent désignée sous l'appellation ACV, analyse du cycle de vie) et ce pour le numérique mais aussi les autres secteurs comme la mobilité et le bâtiment.

Cependant, pour la phase de production des appareils, les travaux visant à prendre en compte l'ensemble du cycle de vie se heurtent généralement à un manque de transparence sur la nature de l'énergie consommée lors de la production en grande série des produits notamment en Chine.

¹³² Pour des questions de commodité de mesure

¹³³ « Norme numérique et green IT » de Bohas, Berthoud et Feltin <http://www.annales.org/site/enjeux-numeriques/2019/en-2019-05/2019-03-5.pdf>

¹³⁴ Dont le rattachement au numérique peut être discuté

Si on cherche à déterminer l’empreinte liée à un type d’usages, on trouve notamment dans les travaux du Shift Project quelques méthodes pour mesurer l’empreinte des différents usages (envoi de mail, visionnage de vidéo,...), mais elles ne font pas nécessairement consensus.¹³⁵ Pourtant certains usages comme le streaming vidéo ou les jeux en ligne sont souvent annoncés comme pouvant faire exploser la consommation.

Il est à noter que la consommation d’énergie, que ce soit celle du terminal ou celle induite dans les réseaux et les serveurs, n’était jusqu’à présent que peu ou pas prise en compte dans la définition de nouveaux services¹³⁶ ou protocoles, sauf par les fabricants de portable qui cherchaient à optimiser la décharge de la batterie ou les opérateurs pour les équipements isolés, notamment dans les pays où l’énergie n’est pas toujours disponible. Chacun des acteurs cherche à optimiser sa consommation mais ne réfléchit pas en termes de service alors que les instances de normalisation ont su mettre en place cette vision globale (diffusion télé, opérateurs télécoms), notamment pour économiser les fréquences. Par ailleurs, les recherches portent davantage sur l’optimisation de la consommation pour un débit ou un volume donnés, que sur la pertinence ou la nécessité du débit ou du volume en question. Ainsi la définition des images ne cesse d’augmenter, indépendamment du fait qu’elles sont majoritairement vues sur des terminaux mobiles.

Une vision d’ensemble pour un service ou un usage permettrait d’introduire la préoccupation de sobriété dès sa définition, en prenant en compte son effet en termes de consommation d’énergie sur le terminal (volume de stockage et puissance nécessaires), sur les réseaux (volume, débit, latence), sur les serveurs (stockage et time response) au regard de l’usage final. C’est l’exercice qui a été réalisé par le Shift Project pour sensibiliser le grand public à la consommation réelle induite par les différents usages. Cela permet de s’interroger sur l’intérêt d’une image haute définition transmise sur un mobile (et donc définir un format propre à ce type de terminal) ou sur l’appétence globale pour le big data ainsi que sur la « richesse » des pages y compris pour les services publics. L’exemple de la page d’accueil de Google est sans doute à méditer.

La phase fin de vie ou réutilisation liée à l’analyse de cycle de vie est plus aisée à réglementer que la phase production puisqu’elle est réalisée dans le lieu de consommation¹³⁷. Historiquement, le recyclage est traité depuis les années 90, avec la mise en place d’une obligation de Responsabilité Étendue du Producteur (REP) pour le secteur des équipements électriques et électroniques dont relèvent les appareils numériques. Mais l’obligation de collecte combinée avec le prix élevé des terminaux et leur rapide remplacement a favorisé le marché de la réutilisation, d’abord dans les pays en développement puis dans les pays développés, surtout pour les mobiles. Si on considère que l’essentiel de l’empreinte d’un téléphone est dans la phase de production, cette la facilitation de la réutilisation est à favoriser, même si l’absence de constructeur européen rend la réglementation moins efficace.

Normes globales (non contraignantes):

¹³⁵ Renvoyer sur l’incertitude des différents chiffres qui dépendent fortement du pays de consommation

¹³⁶ Même si récemment cette attitude semble évoluer, ainsi la 5G est présentée comme plus économe en énergie que les générations précédentes

¹³⁷ Au moins en partie pour la collecte. Le recyclage des matières premières des appareils que très partiellement réalisé en France

- Recommandation ITU L.1450¹³⁸ sur l'évaluation de l'empreinte du numérique, qui comporte une méthode de calcul de l'empreinte ainsi que des scénarios de trajectoire pour diminuer cette empreinte.
- la famille des normes ISO 14000 et 14040, qui définit les systèmes de management environnementaux, ainsi que les empreintes en eau (14046) et en carbone (14047) des produits et services,
- la famille des normes ISO 14020, qui définit les étiquettes environnementales des produits fabriqués,
- la norme ISO 14062, qui définit l'intégration des aspects environnementaux dans la conception des produits et services,
- la norme ISO 50 001 pour le management de l'énergie.

Comme toutes les recommandations de l'ISO ou de l'ITU, ces normes ne sont pas obligatoires (elles définissent plutôt des méthodes ou fixent des cadres, mais elles peuvent le devenir via un texte national ou communautaire).

II.1. Les data centers

Si les centres de calcul internes existent depuis les années 70, l'identification des data centers en tant que lieu de stockage massif de données puis de services est arrivée avec la généralisation de l'Internet, puis des plateformes, du cloud (c'est-à-dire de l'externalisation des traitements) et du big data, et leur usage a explosé, notamment pour les sites d'hébergement, même si les sites internes des entreprises et surtout des administrations existent toujours. La problématique de la consommation électrique dépend encore largement du type d'installation : elle peut être noyée dans d'autres frais pour des installations internes, dont les exploitants vont privilégier le maintien en conditions opérationnelles, sans trop se soucier de la consommation¹³⁹, mais pour les grands hébergeurs, elle est une source de coûts importante qu'il convient de maîtriser. Certains très grands acteurs comme Microsoft ou Amazon Web Services vont même jusqu'à proposer des services plus complets mieux optimisés à leurs clients, ce qui en peut en partie contrebalancer les réserves sur la localisation des données et le Patriot Act.

En vue d'optimiser l'empreinte de ces data centers, sept indicateurs ont été développés par le consortium The Green Grid¹⁴⁰, créé en 2007 afin de promouvoir et de mesurer l'efficacité énergétique.

1. PUE, Power Usage Effectiveness

Le PUE, indicateur d'efficacité énergétique, défini par la norme ISO/IEC 30134-2 JTC1/SC39 (modifiée en 2018)¹⁴¹, donne le ratio entre l'énergie totale consommée par le data center (l'infrastructure) et celle consommée par les systèmes informatiques sur 12 mois consécutifs. Un PUE de proche de 1 semble idéal puisque seul le matériel informatique consommerait de l'énergie.

Il vise à minimiser la charge des installations techniques, à savoir les systèmes de refroidissement et électriques (groupe de refroidissement, ventilateurs, pompes), des unités de climatisation, des onduleurs, des unités de distribution électrique, etc.

¹³⁸ <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1450/fr>

¹³⁹ Donc en dimensionnant les systèmes de refroidissement au niveau nécessaire au bon fonctionnement des serveurs

¹⁴⁰ <https://www.thegreengrid.org/>

¹⁴¹ <https://www.iso.org/fr/standard/72702.html>

A noter cependant les limites du PUE. En effet, une amélioration de l'efficacité énergétique d'un équipement informatique conduit à une dégradation du PUE, bien que l'installation dans son ensemble soit moins consommatrice.

Par ailleurs, il faut distinguer le PUE cible, qui est établi à la conception du data center, et le PUE réel, qui est mesuré. Une utilisation non optimale du data center (ex. sous-utilisation) conduit à des performances dégradées des auxiliaires (chaines d'alimentation, groupes de climatisation, etc.) et donc une consommation non informatique supérieure à celle prévue par le PUE cible.

2. WUE, Water Usage Effectiveness

Il s'agit du rapport entre la quantité d'eau consommée pour refroidir le data center et l'énergie consommée par l'infrastructure. [En projet de normalisation par l'ISO/IEC](#)

3. CUE, Carbon Usage Effectiveness

Le CUE est le rapport entre la quantité totale de GES rejetée par le data center et la quantité d'énergie utilisée par les équipements informatiques (kgCO_2/kWh).

A noter qu'il existe un projet de norme sur le CUE (ISO/IEC CD 30134-8 Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 8: Carbon Usage Effectiveness)¹⁴².

4. ERE, Energy Reuse Effectiveness

Il s'agit de la quantité d'énergie consommée par le data center moins l'énergie réutilisée, divisé par l'énergie consommée par l'informatique (par exemple : la chaleur de la salle de serveurs récupérée pour chauffer le bâtiment).

5. ERF, Energy Reuse Factor

Il s'agit de l'énergie réutilisée divisée par l'énergie totale consommée par le data center. [Projet de normalisation par l'ISO/IEC](#)

6. REF, Renewable Energy Factor

Ce facteur mesure la part d'énergie renouvelable consommée dans la consommation totale du data center. *Norme ISO/IEC 30134-3 JTC1/SC39 (2016)*

7. DCEM, Data center Energy Management

Le DCEM est un indicateur global de performance énergétique. *Norme ETSI GS OEU 001 (2013)* ¹⁴³

Il regroupe quatre indicateurs dont les objectifs portent sur :

- La consommation d'énergie
- L'efficacité de traitement
- La réutilisation d'énergie
- L'énergie renouvelable

Le plus utilisé de ces indicateurs est très largement le PUE ; il est notamment mis en avant par les gros data centers récents qui affichent de très bons taux pour pousser les détenteurs d'installations plus anciennes à migrer vers leurs offres. Avec un PUE proche de 1, il n'y a pas besoin de recyclage de chaleur fatale. Employé seul, il n'incite pas forcément à l'efficacité informatique (si on remplace une

¹⁴² Ce projet se trouve au stade DIS (Draft International Standard).

¹⁴³ https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/OEU/001_099/001/01.02.03_60/gs_OEU001v010203p.pdf

machine par une machine plus efficace, sans changer le refroidissement, le PUE augmente). S'il n'est pas possible de l'améliorer pour des raisons de coût ou d'exigences sur les sites, l'utilisation de la chaleur fatale peut alors être recherchée.

7.1. Au niveau international

Au-delà des normes ISO/IEC 30134, le comité TC 9.9 de l'*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)* définit les normes environnementales des bâtiments hébergeant des équipements électroniques en termes de température et d'hygrométrie. Les premières normes avaient pour but de définir les conditions de température requises pour le bon fonctionnement des équipements. La troisième édition du livre *Thermal Guidelines*¹⁴⁴ publié en 2012 introduit une préoccupation de limitation de la consommation du système de refroidissement en définissant quatre classes pour l'exploitation thermodynamique des data centers : l'extension de la plage de température et du taux d'humidité permet de réduire la consommation énergétique du système de refroidissement et d'augmenter les possibilités d'utilisation du free-cooling (refroidissement par l'air extérieur). Ce guide concerne surtout les sites situés aux Etats-Unis.

7.2. Au niveau européen

En plus de la norme ETSI GS OEU 001 (2013) évoquée ci-dessus, la norme européenne EN 50600¹⁴⁵ (Installations et infrastructures de centres de données) plus récente, développée par le Comité européen de Normalisation en Électronique et en Électrotechnique (*CENELEC*), et publiée en 2016 couvre tout le cycle de vie du data center et pas seulement la maîtrise de l'énergie (efficacité énergétique des data centers). Comme la norme ITU L.1450, elle propose des scénarios chiffrés de conception.

Le Règlement européen UE 2019/424¹⁴⁶ sur l'écoconception des serveurs et produits de stockage de données du 15 mars 2019 établit des exigences d'écoconception applicables aux serveurs et aux produits de stockage de données¹⁴⁷, conformément à la directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil et modifiant le règlement (UE) n°617/2013 de la Commission. Il succède à une démarche volontariste qui avait pris la forme d'un code de conduite européen (CoC) sur les data centers créé en 2008 à l'initiative du Centre commun de recherche de l'UE, afin d'encourager les acteurs à réduire leur consommation énergétique. Document pédagogique de référence, le CoC fournissait une terminologie et un cadre de référence commun mais il s'est peu répandu à l'ensemble de l'écosystème français¹⁴⁸

¹⁴⁴ https://datacenters.lbl.gov/sites/all/files/ASHRAE%20Thermal%20Guidelines_%20SVLG%202015.pdf

¹⁴⁵ <https://www.tuvit.de/en/services/data-centers-colocation-cloud-infrastructures/din-en-50600/>

¹⁴⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0424&from=FRA>

¹⁴⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0424&from=FR>

¹⁴⁸ **Air France** (2017), **Banque de France**, **Bouygues Telecom** (2012), Bull SAS, Business & Decision, CEA-DAM (2013), Cordon Electronics (2014), **Credit Agricole S.A** (2012), Cyrès Groupe (2016), DATA IV (2014), Devoteam Outsourcing (2013), Euclide Datacenter (2011), Equinix EMEA (2013), Euriware Capgemini (2012), Euroclear Bank SA/NV (2016), **France Telecom Group** (2011), INRA Toulouse (2014), Interxion France SAS (2015), IRT b<>com (2016), ONLINE- SAS (2014), **SFR** (2011), TDF (2013), Telehouse France (2014), U (2015), Université Joseph Fourier (2011).

au-delà des opérateurs. Sa promotion est assurée par le le Gimélec¹⁴⁹, France Datacenter¹⁵⁰ et l'AGIT¹⁵¹, en partenariat avec les autorités européennes notamment la Commission européenne et Joint Research Center

Les aspects environnementaux des serveurs et produits de stockage de données qui ont été identifiés comme importants pour les besoins du règlement sont la consommation d'énergie pendant la phase d'utilisation et l'efficacité des ressources, notamment en ce qui concerne les aspects liés à la réparabilité, à la réutilisabilité, à l'évolutivité et à la recyclabilité pour la sécurité de l'approvisionnement (donc ceux sur lesquels l'UE peut agir, ce qui est plus difficile pour le type d'énergie utilisé lors de la fabrication par exemple). Les exigences d'écoconception devraient permettre d'harmoniser, à l'échelle de l'Union, les exigences relatives à la consommation d'énergie et à l'efficacité des ressources des serveurs et produits de stockage de données, de façon à améliorer le fonctionnement du marché intérieur et la performance environnementale de ces produits.

Un règlement définissant des exigences obligatoires en matière d'efficacité énergétique (y compris pour l'efficacité minimale des sources d'alimentation internes) et d'efficacité matérielle (comme la possibilité de démonter certains composants) est en cours de préparation.

Par ailleurs, un projet de demande de normalisation auprès du CEN/CENELEC est en cours de rédaction par la commission européenne. Il vise à rédiger/réviser des normes notamment sur les aspects suivants :

- la consommation d'énergie pendant la phase d'utilisation
- l'efficacité des ressources, notamment en ce qui concerne les aspects liés à la réparabilité, à la réutilisabilité, à l'évolutivité et à la recyclabilité pour la sécurité de l'approvisionnement.

Enfin, l'application de la directive « performance énergétique des bâtiments » révisée en 2018 qui donne lieu à une étude préparatoire (lot 38) visant à rendre la GTB¹⁵² obligatoire en 2025 dans tout bâtiment ayant une puissance électrique de plus de 290 kW devrait avoir peu d'incidence, car il est peu probable que les data centers n'en soient pas déjà munis.

7.3. En France

Les data centers en tant qu'installations tertiaires sont soumis à la récente réglementation française (décret tertiaire) et font également l'objet de mesures d'accompagnement spécifiques.

¹⁴⁹ **Le Gimélec** : fédère les industriels qui conçoivent et fabriquent des systèmes de pilotage et d'optimisation de l'énergie et des process pour les smart grids, le bâtiment connecté, les infrastructures du numérique et la mobilité électrique. En quelques chiffres : 200 entreprises adhérentes, avec 13 milliards d'euros de C.A et 67 000 salariés.

¹⁵⁰ **France Datacenter** : réunit l'ensemble des acteurs de l'écosystème des DC en France. Elle représente et assure la promotion de la filière comme socle de la performance et de la fiabilité de l'économie numérique. Acteur de la réflexion sur les enjeux industriels numériques, FD favorise la formalisation des savoirs, le développement des compétences et l'adoption des meilleures pratiques par les professionnels, afin d'améliorer la compétitivité de la filière française face à ses concurrents européens.

¹⁵¹ **Alliance Green IT (AGIT)** : l'association des professionnels engagés pour un numérique écoresponsable. Créée en 2011, elle a pour mission de fédérer les acteurs (une trentaine) du green IT pour contribuer au débat public sur la place du numérique dans le développement durable. Des groupes de réflexion sont organisés afin de sensibiliser les acteurs de la filière et plus globalement les utilisateurs de l'outil numérique.

¹⁵² Correspondant aux classes A ou B de la norme NF EN 15-232

Le « décret tertiaire¹⁵³ » ou « décret rénovation tertiaire » et l'obligation de gestion active des bâtiments.

Ce décret précise les modalités d'application de l'article 55 de la **loi ÉLAN** (Évolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique) modifiant l'article L.11-10-3¹⁵⁴ du code de la construction. Cet article impose une **réduction de la consommation énergétique** du parc tertiaire français, à savoir un objectif de réduction des consommations énergétiques (énergie finale) des bâtiments : -40% en 2030, -50% en 2040 et -60% en 2050 par rapport à la consommation de 2010.

Afin d'assurer le suivi, les consommations énergétiques des bâtiments concernés doivent être envoyées sur une plateforme informatique gérée par l'ADEME dès 2020. Une sanction administrative pourra être appliquée en cas de non-respect de l'obligation.

Le décret d'application 2019-771 du 23 juillet 2019 dit décret tertiaire stipule en particulier que cette obligation vaut pour les immeubles d'une surface de plus de 1000 m².

Comme pour la Directive sur la performance des bâtiments, l'obligation qui en résulte sur les data centers reste assez théorique, notamment pour les plus récents d'entre eux. En effet les durées concernées sont peu compatibles avec leur caractère récent et leurs durées de vie.

Deux mesures d'accompagnement sont à signaler :

- Les data centers font l'objet de discussions entre les ministères MEF et MTES et les acteurs dans le cadre du mécanisme des engagements pour la croissance verte (ECV) mis en place par le MTES (voir annexe 6).
- Une réduction de la TICFE¹⁵⁵ (Taxe Intérieure sur la Consommation Finale d'Electricité) :

Lors de son discours du 20 septembre 2018 chez Dassault Systèmes, le Premier ministre a annoncé une défiscalisation en faveur des data centers notamment une réduction de 22 à 12 € de la **TICFE** instituée par l'article 69 de la loi de finances 2019 :

Le C du 8 de l'article 266 quinquies C du code des douanes est complété par des e et f ainsi rédigés :
 Le tarif de la taxe applicable à l'électricité consommée par un centre de stockage de données numériques exploité par une entreprise est, pour la fraction des quantités annuelles excédant un gigawattheure et lorsque la consommation totale d'électricité de ce centre est égale ou supérieure à un kilowattheure par euro de valeur ajoutée, fixé à 12 € par mégawattheure.
 « Un centre de stockage de données numériques s'entend d'une infrastructure immobilière consacrée au stockage physique, au traitement, au transport et à la diffusion de données numériques, dont l'accès est sécurisé, et comprenant des dispositifs spécifiques et dédiés de contrôle de son environnement thermique, de la qualité de son air, d'alimentation en énergie et de prévention des incendies.

¹⁵³ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000038812251&categorieLien=id>

¹⁵⁴

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000031063698&cidTexte=LEGITEXT000006074096&dateTexte=20150819>

¹⁵⁵ https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2018/12/28/2018-1317/jo/article_69

II.2. Les réseaux

II.2.1. Réseaux

Le déploiement des réseaux est complètement normalisé pour ce qui est des protocoles télécom, mais jusqu'à la 4G, la question de l'énergie ne semblait pas traitée en dehors des difficultés éventuelles d'alimentation des équipements du réseau, qui ont pu conduire à rechercher la frugalité. Les opérateurs utilisent cependant quelques indicateurs comme la consommation en Watt par usage pour les sites hors antennes et la consommation en kWh par gigaoctet pour les antennes.

Selon Ericsson, la 5G devrait diviser la consommation d'énergie d'un facteur 10 par rapport au réseau 4G/LTE pour un débit donné.

II.2.2. Cas des décodeurs

Bien que placés chez le consommateur, ils sont en général la propriété des opérateurs qui les spécifient, les font fabriquer et les fournissent. Par contre, leur consommation est à la charge du client final, donc il est nécessaire d'inciter les opérateurs à faire en sorte de limiter cette consommation qui est devenue très significative (comparable à celle d'un réfrigérateur).

Un accord volontaire sur les décodeurs numériques complexes¹⁵⁶ (22/11/2012) a été mis en place par les opérateurs à l'instigation de la Commission :

Cette action a été motivée par les constats suivants :

- Le volume de ventes et d'échanges de décodeurs numériques complexes dans l'UE ainsi que son impact environnemental notamment la consommation électrique sont significatifs,
- Un potentiel significatif d'amélioration sans coûts excessifs existe pour la consommation d'électricité,
- Les initiatives au niveau de l'Union et des États membres et les forces du marché à elles seules ne permettent pas de réaliser le potentiel d'amélioration de la consommation d'électricité de manière satisfaisante,

Et s'est appuyée sur la directive 2009/125/CE qui établit un cadre permettant de fixer des exigences en matière d'écoconception pour les produits liés à l'énergie¹⁵⁷ dont font bien partie les décodeurs numériques complexes qui ont de plus en plus de fonctions, donc consomment de plus en plus et ne sont pas forcément arrêtés ou mis en veille.

L'étude préparatoire a conclu que l'incidence sur l'environnement la plus significative est la consommation d'électricité en phase d'utilisation. Les résultats suivants ont été établis pour l'UE :

¹⁵⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012SC0392&from=FR>

¹⁵⁷ Un produit lié à l'énergie, ou un groupe de produits liés à l'énergie, doivent être couverts par des mesures d'exécution en matière d'écoconception ou par des mesures d'autoréglementation, si le produit représente un volume significatif de ventes et d'échanges, a un impact significatif sur l'environnement, et présente un potentiel significatif d'amélioration en ce qui concerne son impact environnemental » (article 15).

Article 15, paragraphe 2, point a):	Volume annuel de ventes dans l'UE	59 millions d'unités en 2010 20 millions d'unités en 2015 10 millions d'unités en 2020
Article 15, paragraphe 2, point b):	Incidence sur l'environnement, notamment la consommation d'électricité en phase d'utilisation	10 TWh en 2010 21 TWh en 2015 11 TWh en 2020
Article 15, paragraphe 2, point c):	Potentiel d'amélioration de la consommation d'électricité	Jusqu'à 60 %

Objectifs & suivi de cet accord volontaire :

- Réduction à bon rapport coût-efficacité de la consommation d'électricité de **6,5 TWh d'ici à 2016** par rapport au scénario de statu quo, soit des économies de coûts sur l'électricité de 884 MEUR, et 2,6 Mt d'émissions de CO₂ évitées.
- Les signataires présenteront annuellement un rapport à la Commission par l'intermédiaire d'un tiers indépendant.
- Si la Commission considère que l'accord volontaire n'a pas rempli ses objectifs, elle envisagera de proposer un règlement pour le remplacer.

II.2.3. Les terminaux (Utilisation et production)

Certains équipements font l'objet de réglementation spécifique : c'est le cas pour

- **Les téléviseurs** et plus généralement les écrans via *les règlements 642/2009 et 1062/2010*¹⁵⁸ sur les aspects énergétiques et l'affichage d'informations.
- **Les ordinateurs** dont *le règlement 617/2013*¹⁵⁹ est en cours de révision (cela prendra sans doute plusieurs années).
- **Les sources d'alimentation externe** via *le règlement 278/2009*¹⁶⁰ relatif à la consommation d'électricité hors charge et à leur rendement moyen en mode actif.

Plus généralement les appareils domestiques sont concernés par :

- La directive « écoconception » ou « ecodesign »¹⁶¹ de 2009 fixe un cadre permettant d'imposer des performances énergétiques à de nombreux produits utilisés dans les bâtiments (produits blancs, produits bruns, etc.). Chaque groupe de produits fait l'objet de mesures

¹⁵⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX:32010R1062>

¹⁵⁹ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:175:0013:0033:FR:PDF>

¹⁶⁰ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:093:0003:0010:FR:PDF>

¹⁶¹ Directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie

d'application, soit dans le cadre d'engagements volontaires, soit via un règlement de la Commission européenne. On a vu que les contraintes sont plus fortes pour le blanc que le brun.

- Le règlement « ecolabelling »¹⁶² impose à certains produits les « étiquettes énergie » en fonction des classes de performance définies

En parallèle, certains produits comme les téléviseurs et les téléphones font l'objet d'affichage environnemental « Matériel / Équipement (consommateur d'énergie) » pour lesquels un référentiel¹⁶³ est validé par l'ADEME ou d'écolabels¹⁶⁴.

- Les écolabels de type I, dits « officiels » délivrés sous la responsabilité des pouvoirs publics et encadrés par la norme ISO 14 024. Ils respectent plusieurs critères en termes d'exigence des seuils de performance, de processus d'élaboration (concertation), de certification (par un organisme indépendant) et de périmètre couvert (approche cycle de vie global). Les plus connus sont l'écolabel européen, NF Environnement, le Blue Angel (écolabel d'origine allemande, il s'agit de la plus ancienne certification environnementale au monde, introduite dès 1978) mais aussi l'Energy Star pour l'efficacité énergétique des produits (créé aux États-Unis par l'Environmental Protection Agency) ou encore le TCO dédié à la certification de TI dont les impacts sur l'environnement et la santé humaine sont minimisés.
- **Les écolabels de type II** correspondent à des auto-déclarations environnementales et relèvent de la **norme ISO 14 021**. Les critères définis et leur attribution dépendent des groupes d'intérêt (ONG, filières industrielles ou commerciales) qui les conçoivent. On peut citer à titre d'exemple le label EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool : d'origine américaine, cette auto-déclaration proposée par le Green Electronics Council et portant sur le cycle de vie global des TIC bénéficie désormais d'une portée mondiale) ou encore le standard ECMA-370 (12) qui spécifie un ensemble de caractéristiques environnementales et de méthodes de mesure pour aider les constructeurs de TIC à établir leurs auto-déclarations.
- Enfin, la **norme ISO 14 025** encadre la création des **écolabels de type III dit « écoprofiles »**. Ils résultent d'ACV et ont pour vocation d'aider à la comparaison de produits bien que leur caractère très technique ne facilite pas l'appréciation des qualités environnementales des produits. »

Au-delà de la stricte consommation d'énergie, l'introduction de sources intermittentes d'électricité conduit à poser le problème des appels de puissance et du pilotage de la demande sous le label « smart ».

¹⁶² Règlement (UE) 2017/1369 du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2017 établissant un cadre pour l'étiquetage énergétique et abrogeant la directive 2010/30/UE

¹⁶³ <http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwin3se7x-bkAhWPD2MBHWmHCCQQFjACegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.base-impacts.ademe.fr%2Fgestdoclist%2Fdownload%3Furl%3D%2Fdocuments%2FAffichageenvironnementaldesproduitsPartie26Telephonesmobiles.pdf&usg=AOvVaw00bR52EMKhDAxMH4TpNKki>

¹⁶⁴ Norme numérique et green IT, annales de Mines, mars 2019

Une « étude préparatoire » sur les appareils intelligents (*Ecodesign Preparatory Study on Smart Appliances*) est en cours depuis 2014 sous le nom de « Lot 33 » afin d'analyser les aspects techniques, économiques et sociaux d'une large diffusion de ces appareils. Cette étude pourrait conduire à la création d'un logo « energy smart » (en complément des étiquettes énergie). Ce nouveau logo permettrait de définir la capacité des appareils à recevoir des signaux d'effacement pour satisfaire une exigence de flexibilité plutôt que de frugalité, à mettre en regard d'un mix avec plus d'EnR, donc de variation dans la production.

Cas particulier de l'harmonisation des chargeurs :

Au-delà de la consommation électrique, en 2009, la Commission européenne (CE) a signé, avec les fabricants de téléphones, un premier protocole d'entente, volontaire, pour « l'harmonisation des chargeurs » qui vise à en diminuer le nombre, donc à limiter les ressources nécessaires à leur production. Celui-ci préconisait l'utilisation de chargeurs à port USB-A dit standard et de smartphones à port micro-USB. Mais depuis, les avancées technologiques ont engendré une nouvelle solution : l'USB-C, plus performant. La CE a donc lancé une nouvelle campagne « promouvant » l'utilisation d'un nouveau chargeur commun pour les téléphones mobiles. Sept fabricants de smartphones se sont engagés à ce que, dans un délai de trois ans (2021), leurs nouveaux smartphones soient « rechargeables par un connecteur USB-C ». Il faut cependant noter que le protocole d'entente n'est pas abouti dans la mesure où il ne spécifie pas le type de connexion de l'autre côté du câble.

II.2.4. Réutilisation et recyclage :

Comme indiqué au §2, les produits IT relèvent de la filière REP des DEEE pour ce qui est du recyclage, qui est régi en France par des éco-organismes. La collecte et le recyclage sont organisés par ces éco-organismes et est donc propice à la réutilisation et au recyclage des matières premières (au moins en théorie pour cette dernière).

Réglementation sur l'obsolescence programmée pour faciliter la réparation et la réutilisation :

L'article L. 213-4-1.-I. du code de la consommation définit l'obsolescence programmée comme « l'ensemble des techniques par lesquelles un metteur sur le marché vise à réduire délibérément la durée de vie d'un produit pour en augmenter le taux de remplacement ». Cette infraction constitue un délit au regard de la Loi française N°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

La réglementation en matière d'obsolescence programmée s'applique à travers :

- L'immovibilité des batteries a fait l'objet d'une directive européenne (2006/66/EC art11) retranscrite en droit français par un décret du 10 juillet 2015.
- L'obligation d'information sur la disponibilité des pièces détachées (article L. 111-4 du code de la consommation).

Loi sur l'économie circulaire

Le projet de loi relatif à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire¹⁶⁵ est en débat au Parlement depuis septembre 2019. Il s'articule autour de quatre grandes orientations :

¹⁶⁵ http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/dossiers/lutte_gaspillage_economie_circulaire

- mettre fin au gaspillage pour préserver les ressources naturelles,
- mobiliser les industriels pour transformer les modes de production,
- renforcer l'information du consommateur
- et améliorer la collecte des déchets.

Les fabricants concevant leurs produits de manière écologique bénéficient d'un bonus sur la contribution qu'ils versent pour la gestion et le traitement de la fin de vie de leurs produits¹⁶⁶. A contrario, les fabricants n'intégrant pas l'écoconception dans leur manière de produire voient cette contribution augmenter avec un malus.

- Les principales dispositions concernant le numérique sont les suivantes :
 - *Création d'un article L. 541-9-1 du code de l'environnement :*

Il s'agirait d'**imposer aux producteurs et importateurs de produits générateurs de déchets** (donc les appareils numériques sont concernés) d'informer les consommateurs sur les **qualités et caractéristiques environnementales** de ces produits par voie de **marquage ou d'étiquetage** (incorporation de matière recyclée, emploi de ressources renouvelables, durabilité, réparabilité, possibilités de réemploi, recyclabilité, présence de substances dangereuses). Cette obligation serait assortie de **sanctions** d'une amende administrative d'un montant maximum de 3.000 euros pour les personnes physiques et 15.000 euros pour les personnes morales.

- *Création d'un article L. 541-9-2 du code de l'environnement :*

A partir du 1er Janvier 2021, il s'agirait d'imposer aux fabricants de produits électriques et électroniques d'informer les consommateurs sur la réparabilité des équipements. Cette information prendrait la forme d'un indice de réparabilité par voie de marquage ou d'étiquetage sur le modèle du modèle de l'étiquette énergie. Cette information est élaborée sur la base d'un référentiel développé par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) en concertation avec les industriels.

- *Modification de l'article L. 111-4 du code de la consommation :*

Il s'agirait d'obliger les vendeurs à fournir les pièces détachées disponibles non plus dans un délai de 2 mois mais dans un délai de 20 jours.

Les professionnels qui proposent des prestations d'entretien et de réparation des équipements devront proposer au consommateur d'opter pour l'utilisation de pièces de rechanges issues de l'économie circulaire au lieu de pièces neuves.

Cette obligation serait assortie de sanctions d'une amende administrative d'un montant maximum de 3.000 euros pour les personnes physiques et 15.000 euros pour les personnes morales.

- *Modification de l'article L. 541-9 du code de l'environnement :*

Il s'agirait de subordonner la mise sur le marché de certains produits et matériaux au respect d'un taux minimal d'incorporation de matière recyclée.

¹⁶⁶ Ce qui est bien le cas pour les DEEE